

Porovnání metod výpočtů vzdálenosti poruch na vedeních přenosové soustavy

Comparison of fault location methods on power transmission lines

Bc. Martin Remeň

Diplomová práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.

Ostrava 2020/21

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Martin Remeň

Studijní program:

N0713A060003 Elektroenergetika

Téma:

Porovnání metod výpočtů vzdálenosti poruch na vedeních přenosové soustavy

Comparison of fault location methods on power transmission lines

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor sítí nadřazené soustavy
2. Distanční ochrany a zapisovače poruch
3. Popis formátu COMTRADE pro výměnu záznamů ze zapisovačů poruch
4. Metody pro výpočet vzdálenosti poruch
5. Výpočet vzdálenosti poruch jednotlivými metodami na konkrétních záznamech poruch
6. Porovnání přesnosti výsledků jednotlivých metod
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Chmelík, Toman, Hanuš, Grym, Machoň, Hochman - Chránění III - agentura IRIS Havířov 2005
2. Dohnálek P. - Ochrany pro průmysl a energetiku - Praha, SNTL, 1991
3. IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems
- The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.,
4. SWAGATA DAS, SURYA SANTOSO, ANISH GAIKWAD, MAHENDRA PATEL
Impedance-Based Fault Location in Transmission Networks: Theory and Application - IEEE Access - date of publication May 13, 2014

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2020

Datum odevzdání: 30.04.2021

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Podakovanie

Chcem sa poďakovať vedúcemu práce prof. Ing. Stanislavovi Rusekovi, CSc. za cenné rady, trpezlivosť a usmernenia, ktoré mi poskytol pri písaní diplomovej práce.

Ďalej by som chcel veľmi pekne poďakovať konzultantovi Ing. Martin Galetka, Ph.D. zo spoločnosti ČEPS, a.s., za užitočné pripomienky, ochotu, trpezlivosť, odborné konzultácie a za poskytnutie údajov potrebných pre vypracovanie teoretickej, ale aj praktickej časti diplomovej práce.

Abstrakt

Práca sa venuje problematike lokalizácie porúch na vonkajších silových vedeniach prenosovej sústavy. Prenosová sústava a jej dôležitosť na domácom, respektíve zahraničnom trhu je opísaná v úvode práce. Stabilný chod prenosovej sústavy by sa nezaobišiel bez ochrán a zariadení, ktoré ju monitorujú. V mojej práci som sa zamerlal na distančné ochrany. Podrobne som opísal využitie distančných ochrán, na akom princípe pracujú, čo je ich obsahom a samozrejme, kde a v akom formáte zapisujú jednotlivé poruchové stavy. Poruchové záznamy sú zapisované zapisovačom poruch, ktorý vytvára záznam vo formáte COMTRADE. Tento formát som rozobral v 3. kapitole. Hlavným poslaním tejto práce je porovnanie troch metód, ktoré sa v praxi používajú pre výpočet lokalizácie miesta poruchy na vonkajších vedeniach. Konkrétne sú to tieto metódy: jednostranná impedančná metóda, synchronizovaná dvojstranná metóda a nesynchronizovaná dvojstranná metóda. Všetky tieto metódy popísal v kapitole 4. V nasledujúcej kapitole som tieto metódy použil na lokalizáciu miesta poruchy, ktorá sa stala na vedení V203 v smere zo Sokolníc do Opočínku. Na vizualizáciu priebehov napätí a prúdov som použil program SIGRA, ktorý sa špecializuje na lokalizáciu miesta poruchy. V závere práce som výsledky porovnal a zhodnotil.

Kľúčové slová

prenosová sústava, distančná ochrana, lokalizátor porúch, jednostranná impedančná metóda, synchronizovaná dvojstranná metóda, nesynchronizovaná dvojstranná metóda

Abstract

The Master's thesis deals with the problem of locating breakdowns on the external power lines of the transmission system. The transmission system and its importance on the domestic, respectively foreign market are described in the introduction of the thesis. The stable operation of the transmission system would not be possible without the protections and devices that monitor it. I focused on distance protection in my Master's thesis. I described the use of distance protection in more detail and the principle they work on. In addition, I explained the content of distance protection. Surely, it was also important to concentrate on the ideas of where and in what format they write down individual breakdown conditions. The breakdown records are written by a breakdown recorder, which creates a record in COMTRADE format. This format was described in the 3rd chapter. The main aim of the Master's thesis is the comparison of three methods that are used in a practice for the calculation of the breakdown location on external lines. It is specifically these three methods: One-Ended Impedance-Based method, Synchronized Two-Ended Method, and Unsynchronized Two-Ended Method. All the methods are explained in the 4th chapter. I used these methods to locate the breakdown place in the following chapter. It happened on a line V203 in the direction from Sokolnice to Opočíněk. I used the SIGRA program to visualize the process of voltage and current. This program specializes in locating the breakdown place. The results were compared and evaluated at the end of the Master's thesis.

Key words

transmission system, distance protection, breakdown locator, One-Ended Impedance-Based method, Synchronized Two-Ended Method, Unsynchronized Two-Ended Method

OBSAH

Zoznam obrázkov	9
Zoznam tabuliek.....	10
Zoznam grafov	10
Zoznam použitých skratiek a symbolov	11
Úvod	12
1. Teoretický rozbor sietí nadradenej sústavy ČR	13
1.1. Elektrizácia sústava	13
1.1.1. Prenosová (nadradená) sústava	14
1.1.2. Distribučná sústava	14
1.2. Rozvoj prenosovej sústavy	16
1.2.1. Spoločnosť ČEPS, a.s.	17
1.3. ENTSO-E	19
1.3.1. Ciele ENTSO-E	21
2. Distančné ochrany a zapisovače porúch	22
2.1. Využitie distančných ochrán	22
2.2. Doba vybavenia ochrany	23
2.3. Charakteristika distančnej ochrany	24
2.4. Poruchový záznam	26
2.5. Poruchový zapisovač	26
3. Popis formátu COMTRADE pre výmenu záznamu zo zapisovačov poruch	27
3.1. COMTRADE súbory	27
3.2. Súbor záhlavia (xxxxxxx.HDR)	27
3.3. Konfiguračný súbor (xxxxxxx.CFG)	28
3.4. Dátový súbor (xxxxxxx.DAT)	28
3.5. Informačný súbor (xxxxxxx.INF)	29
4. Metódy pre výpočet vzdialenosti poruch	30
4.1. Jednostranná impedančná metóda	30
4.2. Synchronizovaná dvojstranná metóda	34
4.3. Nesynchronizovaná dvojstranná metóda	36
5. Výpočet vzdialenosti porúch jednotlivými metódami na konkrétnom zázname poruchy.	37

5.1.	Program SIGRA	37
5.2.	Poruchy vznikajúce na vonkajších vedeniach	38
5.3.	Porucha na vedení V203	39
5.4.	Vlastnosti vedenia V203	40
5.5.	Namerané hodnoty napätí a prúdov zapisovačmi poruch REC670	41
5.6.	Výpočet lokalizácie miesta poruchy pomocou jednostrannej impedančnej metódy	43
5.7.	Výpočet lokalizácie miesta poruchy pomocou synchronizovanej dvojstrannej metódy	49
5.8.	Výpočet lokalizácie miesta poruchy pomocou nesynchronizovanej dvojstrannej metódy	51
6.	Porovnanie presnosti výsledkov jednotlivých metód	53
6.1.	Lokalizácia miesta poruchy pomocou programu SIGRA	54
6.2.	Výsledky jednostrannej impedančnej metódy	54
6.3.	Výsledky synchronizovanej dvojstrannej metódy	57
6.4.	Výsledky nesynchronizovanej dvojstrannej metódy	58
7.	Záver	59
	Zoznam použitej literatúry	61
	ZOZNAM PRÍLOH	63

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 Elektrizácia sústava [2]	13
Obr. 2 Prenosová sústava Českej republiky [4]	14
Obr. 3 Usporiadanie elektrizačnej sústavy [3]	15
Obr. 4 Rozdelenie distribučných sietí v ČR [6]	15
Obr. 5 Prenosová sústava roku 1980 [7]	16
Obr. 6 Mapa štátov patriacich pod ENTSO-E [17]	20
Obr. 7 Základné a záložné chránenie [18]	22
Obr. 8 Nastavenie impedančnej časovej charakteristiky [18]	23
Obr. 9 Oblasti v impedančnej rovine [19]	24
Obr. 10 Zapojenie distančnej ochrany [19]	25
Obr. 11 Vypínacie char.: a) impedančná; b) polarized MHO; c) konduktančná [19]	25
Obr. 12 Časť súboru záhlavia z poruchy na vedení V203	27
Obr. 13 Časť konfiguračného súboru z poruchy na vedení V203	28
Obr. 14 Časť dátového súboru z poruchy na vedení V203	29
Obr. 15 VVN vedenie napájané z dvoch strán s vyznačeným miestom poruchy [22]	30
Obr. 16 Schéma 1f. skratu [23]	32
Obr. 17 Schéma 2f skratu [23]	33
Obr. 18 Schéma 3f skratu [23]	34
Obr. 19 Pracovná plocha programu SIGRA	37
Obr. 20 Miesto poruchy na stožiare 259 [23]	39
Obr. 21 Vyznačené vedenia V203 jeho s jeho začiatkom a koncom [23]	40
Obr. 22 Priebeh prúdov IL1, IL2, IL3, IN v čase 0.00s	42
Obr. 23 Priebeh napätí UL1, UL2, UL3, U0 v čase 0.00s	42
Obr. 24 Priebehy efektívnych hodnôt prúdov v jednotlivých vodičoch	44
Obr. 25 Priebehy efektívnych hodnôt napätí v jednotlivých vodičoch	44
Obr. 26 Výpočet miesta poruchy zo strany Sokolníc v programe SIGRA	46
Obr. 27 Priebehy efektívnych hodnôt prúdov v jednotlivých vodičoch	47
Obr. 28 Priebehy efektívnych hodnôt napätí v jednotlivých vodičoch	47
Obr. 29 Výpočet miesta poruchy zo strany Opočínku v programe SIGRA	49
Obr. 30 Označenie miesta stožiaru na ktorom bola porucha	53
Obr. 31 Označenie stožiarov, ktoré určil program SIGRA	54
Obr. 32 Mapa stožiarov, ktoré určil lokalizátor	55
Obr. 33 Mapa stožiarov ktoré určil výpočet	56
Obr. 34 Miesto stožiaru ktorý vypočítala porucha (253) a stožiar na ktorom bola skutočne porucha (259)	57
Obr. 35 Porovnanie presnosti výsledkov na vedení V203	60

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1 - Rozdelenie štátov do jednotlivých regionálnych skupín ENTSO-E [15]	20
Tabuľka 2 - Definícia napätia UA a prúdu IA [22]	31
Tabuľka 3 - Ochrany na vedení V203 [23]	41
Tabuľka 4 - Parametre vedenia V203 [23].....	41
Tabuľka 5 - Namerané hodnoty I a U v čase 7:36:38.808 (0.00s)	41
Tabuľka 6 - Namerané údaje zo strany Sokolníc v čase 47ms.....	43
Tabuľka 7 - Namerané údaje zo strany Opočínku v čase 47ms.....	46
Tabuľka 8 - Údaje o skutočnej poruche z oboch strán	53
Tabuľka 9 - Výsledky z programu SIGRA.....	54
Tabuľka 10 - Miesta poruchy určené lokalizátorom porúch	55
Tabuľka 11 - Výsledky výpočtu jednostrannej imedančnej metódy	56
Tabuľka 12 - Výsledky výpočtu synchronizovanej dvojstrannej metódy	57
Tabuľka 13 - Výsledky výpočtu nesynchronizovanej dvojstrannej metódy	58
Tabuľka 14 - Porovnanie výsledkov jednotlivých metód.....	60
Tabuľka 15 - Zdroje výroby el. energie v ČR, r.2020 [26]	64
Tabuľka 16 - Odvetvia spotreby el. energie v ČR, r.2020 [26].....	65
Tabuľka 17 - Rozdelenie inštalovaného výkonu jednotlivých zdrojov v ES ČR, r.2020 [26]	66
Tabuľka 18 - Prenosová sústava v číslach k 31.12. 2020 [4].....	67

ZOZNAM GRAFOV

Graf 1 - Podiel jednotlivých zdrojov na celkovej výrobe el. energie v ES ČR 2020 [26]	64
Graf 2 - Bilancia spotreby vyrobenej el. energie [26].....	65
Graf 3 - Podiel inštalovaného výkonu jednotlivých zdrojov v ES ČR [26]	66

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

a.s.	akciová spoločnosť
ČR	Česká republika
ČEPS	Česká prenosová sústava
DO	distančná ochrana
ENTSO-E	Európska asociácia prevádzkovateľov prenosových sústav
ES	elektrizačná sústava
EÚ	Európska únia
GPS	Global Positionung System
IED	inteligentné elektronické zariadenia
OZ	opätovné zapnutie
PpS	podporné služby
PS	Prenosová sústava
TSO	Prevádzkovatelia európskych prenosových sústav
I	prúd [A]
f	frekvencia [Hz]
R	odpor [Ω]
U	napätie [V]
X	reaktancia [Ω]
A	Ampér
kA	kiloampér
km	kilometer
kV	kilovolt
ms	milisekunda
s	sekunda
VN	vysoké napätie
VVN	veľmi vysoké napätie
ZVN	zvlášť vysoké napätie

ÚVOD

Obnoviteľné zdroje energie, jadrová energia, elektro-mobilita, zelená Európa, či bez-uhlíková stopa. Pojmy, ktoré sa čoraz častejšie dostávajú do našej spoločnosti a komunikácie v bežnom živote. Čo majú tieto pojmy spoločné ?

Náš život sa stal závislý na elektrickej energii. Hľadáme princípy, spôsoby ako najefektívnejšie a najčistejšie vyrobiť elektrickú energiu bez toho, aby sme vyprodukovali skleníkové plyny. Avšak elektrickú energiu, ktorú vyrobíme potrebujeme transportovať na miesta, kde ju spotrebujeme. Na to nám slúži vedenie, či už prenosové alebo distribučné. Pomocou vedenia prenášame výkon z miesta výroby ku koncovým odberateľom. Používame zariadenia na monitorovanie, meranie, istenie a robíme všetko preto, aby sme zabezpečili výkonovú rovnováhu, čiže rovnovážny stav medzi výrobou a spotrebou.

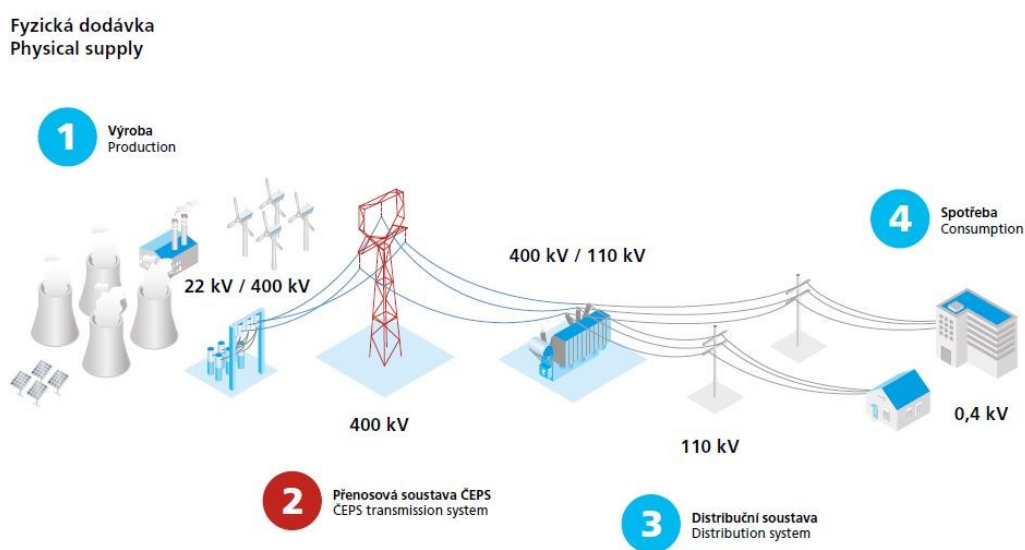
Prenos elektrickej energie pomocou vedenia, sa nezaobíde bez poruchových stavov. Každé ročné obdobie predstavuje iné namáhanie vedenia a hrozby, ktoré ovplyvňujú bezporuchový chod siete. Či už sa jedná o námrazu v zime alebo teplom prehýbané vedenie v letnom období, ktoré sa približuje vegetácií. Zjednodušene, hovoríme o poruchových stavoch, tie však nemusia byť zapríčinené, len poveternostnými podmienkami. Týmto stavom sa snažíme predchádzať, ale nie vždy sa podarí vedenie udržať zapnuté. Pri poruchových stavoch a teda vypnutom vedení potrebujeme poruchu rýchlo odstrániť a dostať vedenie do prevádzky. Na rýchly zásah a opravu potrebujeme presne vedieť, kde sa porucha nachádza, aby sme ju vedeli bezpečne odstrániť. Presnou lokalizáciou poruchy a rýchlym odstránením docielime opätovné spustenie vedenia a prinavrátame stabilitu siete. Pre lokalizáciu porúch používame viaceré metódy a niektorým vybraným metódam som sa venoval v tejto diplomovej práci.

1. TEORETICKÝ ROZBOR SIETÍ NADRADENEJ SÚSTAVY ČR

1.1. Elektrizovaná soustava

Elektrizační soustava zahrnuje výrobu, rozvod a využití elektrické energie. Do soustavy tedy patří generátory v elektrárnách, rozvodný systém a spotřebiče elektrické energie. Do rozvodného systému patří všechna zařízení mezi výrobkami a spotřebiči, jsou to všechny vedení, rozvodné a rozváděče, transformační a měnící stanice se všemi měřicími, kontrolními, spínacími, regulačními a ochrannými zařízeními. Výhodou soustavy je společná rezerva výkonu pro celý systém, zvýšení bezpečnosti prevádzky, možnost lepšího využití výroby a zvýšení hospodárnosti soustavy jako celku. Elektrizační soustavu můžeme rozdělit na přenosovou a distribuční.

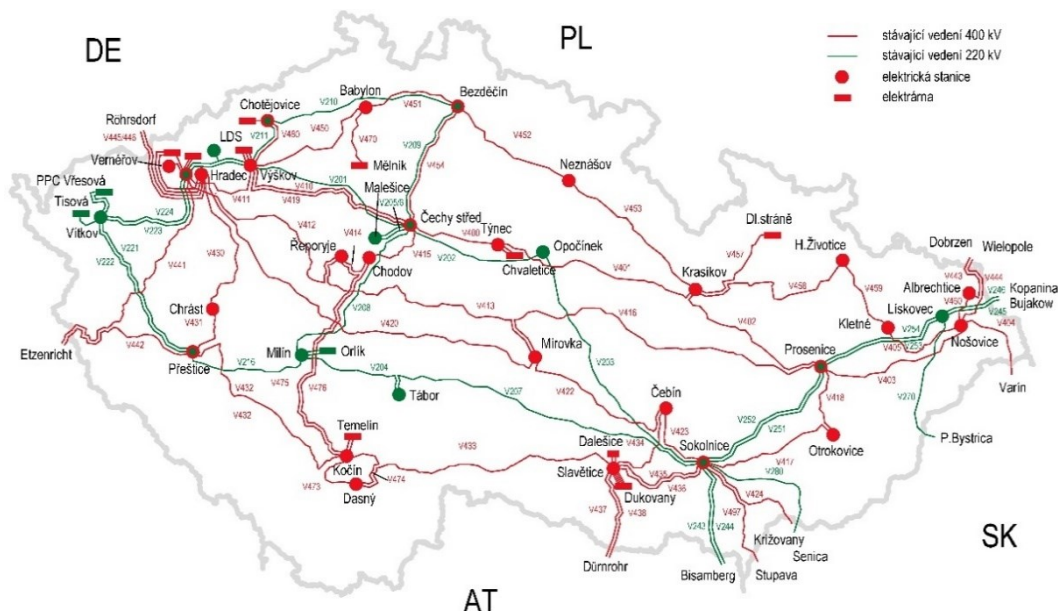
Zvláštností elektrizační soustavy je skutečnost, že výroba elektrické energie, její přenos a přeměna na jiné formy energie se uskutečňuje prakticky v tom istém časovém okamžiku. Inak řečeno, elektrickou energii nelze skladovat. Tato zvláštnost odstraňuje problémy vzdálenosti stovky kilometrů mezi zdrojem a spotřebou, ale zároveň vede k tomu, že všechny části soustavy jsou vzájemně těsně a působí současně. Druhou zvláštností je velká rychlost přechodných jevů v soustavě. Třetí zvláštností je těsná a široká vazba na ostatní odvětví hospodárství, komunální spotřeby, dopravy, atd. Tato zvláštnost vyvolává potřebu vysoké spolehlivosti chodu ES a zdůvodňuje potřebu vytváření dostatečných rezerv výkonu od výroby začínajících a u spotřeby končících. Energetika musí mít tyto výkonové rezervy v primární energii. [1]



Obr. 1 Elektrizační soustava [2]

1.1.1. Prenosová (nadradená) sústava

Prenosová sústava je vzájomne prepojený súbor vedení a zariadení 400kV, 220kV a vybraných vedení a zariadení 110kV, slúžiacich pre zaistenie prenosu elektriny pre celé územie ČR a prepojenie s elektrizačnými sústavami susedných štátov, vrátane systémov meracej, ochrannej, riadiacej, zabezpečovacej, informačnej a telekomunikačnej techniky. Prevádzkovateľom prenosovej sústavy v Českej republike je spoločnosť ČEPS, a.s. [3]



Obr. 2 Prenosová sústava Českej republiky [4]

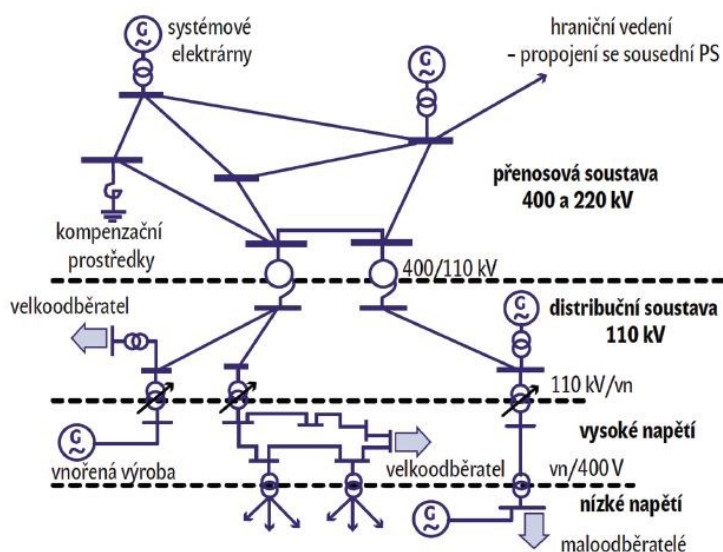
1.1.2. Distribučná sústava

Distribučná sústava slúži na distribúciu výkonu k odberateľom. V Českej republike je tvorená sieťami 110 kV a všetkými nižšími napäťovými hladinami. Prenáša výkon na kratšie vzdialenosti a sú do nej pripojené elektrárne nižších výkonov. V niektorých prípadoch zabezpečuje cezhraničné prepojenia, ktoré však slúžia len pre napájanie vyhradených oblastí. Hlavným rozdielom medzi distribučnou a prenosovou sústavou je okrem veľkosti napätia tiež zapojenie oboch sietí. V prenosovej sústave sú až na prevádzkové výnimky všetky vedenia a transformátory medzi hladinami 400 a 220 kV prepojené, tzn. jedná sa o prepojenú sieť pripomínajúcu pavučinu, v ktorej sa všetky prvky vzájomne elektricky ovplyvňujú. Pri vypnutí jedného, či viacerých vedení a transformátorov prevezmú ich záťaž ostatné prvky, ktoré zostali v prevádzke.

Distribučnú sústavu tvoria vzájomne neprepojené oblasti, ktoré sú napájané z prenosovej sústavy jedným alebo viacerými transformátory zapojenými paralelne. Jednotlivé oblasti distribučnej sústavy sa svojím zapojením navzájom neovplyvňujú, pretože nie sú prepojené a prenosovú sústavu ovplyvňujú najmä svojim odobratým, či dodaným elektrickým výkonom, pokiaľ je v oblasti nadbytok výroby. Oblasti sa prepájajú iba krátkodobo, za účelom prevádzania jednotlivých častí z jednej oblasti do druhej a naopak.

Pri vypnutí vedenia alebo transformátora v distribučnej sústave prevezme jeho záťaž paralelné vedenie, či transformátor, ak je k dispozícii. V prípade, že paralelný prvok nie je k dispozícii, musí sa napájanie zabezpečiť z inej oblasti, inak by došlo k prerušeniu dodávky elektrickej energie odberateľom.

V distribučnej sústave Českej republiky tvoria výnimku dve oblasti, ktoré sú trvalo napájané z dvoch rozvodní prenosovej sústavy. Tvoria tak paralelnú cestu cez sieť 110 kV k vedením prenosovej sústavy a okrem napájania svojich odberov môžu tiež slúžiť pre prenos výkonov - sú teda v podstate súčasťou prenosovej sústavy. Jedná sa o prepojené oblasti medzi rozvodňami Výškov a Chotějovice v severných Čechách a ďalej medzi rozvodňami Dasný a Kočín v jižních Čechách. [5]



Obr. 3 Usporiadanie elektrizačnej sústavy [3]

Prevádzkovateľom distribučnej sústavy v Českej republike sú podľa územného rozdelenia spoločnosti ČEZ Distribuce, a.s., E.ON Distribuce a.s. a PREdistribuce, a.s.

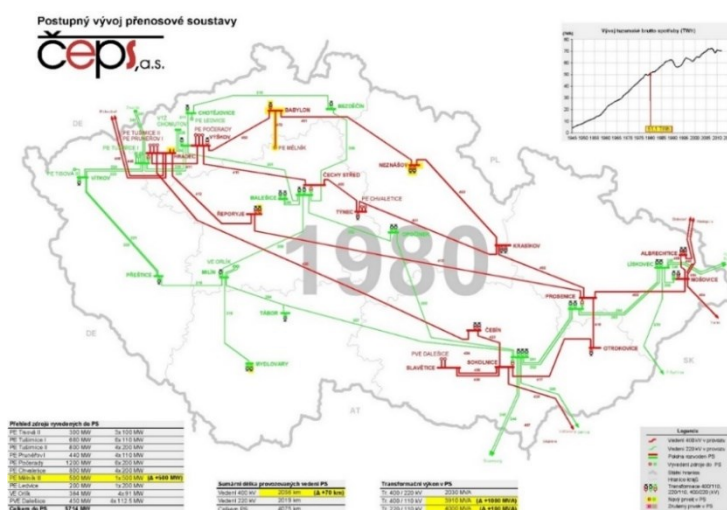


Obr. 4 Rozdelenie distribučných sietí v ČR [6]

1.2. Rozvoj prenosovej sústavy

V začiatkoch priemyslového využívania elektrickej energie nebolo potreba rozvodných ani prenosových sústav. Elektrina bola predovšetkým vyrábaná lokálne pre vlastnú spotrebu. Rozvodné systémy začali vznikať v prvom desaťročí minulého storočia spoločne s prvými verejnými elektrárnami. Hlavný impulz k výstavbe elektrizačnej sústavy, ako ju poznáme dnes, dal v roku 1919 Zákon o sústavnej elektrifikácii štátu. Funkciu vznikajúcej prenosovej sústavy veľmi dobre charakterizovala propagačná božúrka vydaná v roku 1924 Zemským úradom na zveľebovanie živnosti v Brne: „*Úkolem soustavné elektrizace jest vybudovati na území československého státu uzavřený řetězec velkoelektráren, zřízený na pramenech přírodní energie, to jest jednak na dolech, jednak na velkých vodních silách tak, aby umožňovaly, pracující do společné sítě, hospodárny rozvod elektrické energie v potřebném množství v celém státě.*“

Chrbticová prenosová sieť bola prakticky dokončená v 80. rokoch minulého storočia. V súčasnej dobe ju tvoria hlavne vedenia 400 kV. Trasy 220 kV, ktoré boli dokončené začiatkom 70. rokov, dnes plnia prevažne úlohu záložných a doplnkových vedení. Historicky najstaršie sústavy 110kV postupne v 70. rokoch prevzali úlohu uzlovo napájaných distribučných sietí.



Obr. 5 Prenosová sústava roku 1980 [7]

Elektroenergetická prenosová sústava 400 a 220 kV, často nazývané „chrbticová“, slúži k rozvedeniu výkonov z veľkých elektrární do celého územia Českej republiky a zároveň je súčasťou medzinárodného prepojenia Európy. Napája elektrinou distribučné sústavy, ktoré ju ďalej rozvíjajú až ku konečným spotrebiteľom. Cezhraničnými vedeniami je prenosová sústava ČR napojená na sústavy všetkých susedných štátov a tým synchronne spolupracuje s celou elektroenergetickou kontinentálnou Európou.

Veľmi dôležitým aspektom prenosovej sústavy je veľkosť napätia. K prenosu elektrickej energie na veľké vzdialenosti sa využíva VVN z dôvodu zníženia prenosových strát, ktoré vznikajú priechodom elektrického prúdu. Z Ohmovho zákona môžeme odvodiť, že zvyšovaním napätia sa znižuje pretekajúci prúd a teda, aj tieto straty. V ČR je najvyššia napäťová hladina 400 kV. [8]

1.2.1. Spoločnosť ČEPS, a.s.

Akciová spoločnosť ČEPS pôsobí na celom území Českej republiky ako výhradný prevádzkovateľ prenosovej sústavy (elektrické vedenia 400 kV a 220 kV) na základe licencie na prenos elektriny udelenej Energetickým regulačným úradom podľa energetického zákona.

Udržiava, obnovuje a rozvíja 43 rozvodní so 77 transformátormi, z nich niektoré sú určené pre prevádzanie elektrickej energie z prenosovej do distribučnej sústavy, a trasy vedenia s napäťovou hladinou 400kV o dĺžke 3 780 km a 220kV o dĺžke 1 737 km. V rámci elektrizačnej sústavy Českej republiky poskytuje ČEPS, a.s., prenosové služby a služby spojené so zaistením rovnováhy medzi výrobou a spotrebou elektrickej energie v reálnom čase.

Veľmi významnou úlohou spoločnosti ČEPS, a.s. je cezhraničný prenos pre export, import a tranzit elektrickej energie. Spoločnosť sa taktiež dlhodobo aktívne podieľa na formovaní liberalizovaného trhu s elektrinou v ČR a v Európe. [9]

Činnosti spoločnosti ČEPS, a.s.

Hlavné činnosti ČEPS, a.s., je zaisťovať spoľahlivú prevádzku a rozvoj prenosovej sústavy nie len na území ČR, ale aj v kontexte medzinárodnej spolupráce v rámci prepojených prenosových sústav. ČEPS, a.s., zaisťuje prenos elektriny medzi výrobcami a distribútormi, systémové a podporné služby, rovnováhu výroby a spotreby, spolupracuje na prideľovaní cezhraničnej kapacity formou aukcií. Spoločnosť ČEPS prispieva k rozvoju trhu s elektrinou a podieľa sa na rozvoji európskeho trhu. [10]

Dispečerské riadenie

Dispečerské riadenie je činnosťou technického dispečingu ČEPS, ktoré prispieva k naplňovaniu základného poslanie spoločnosti ČEPS, k zaisteniu spoľahlivej a bezpečnej prevádzky elektrizačnej sústavy ČR.

Dispečerské riadenie zahŕňa:

- prípravu prevádzky – plánovanie prevádzky elektrizačnej sústavy a výrobní, spracovanie predikcií spotreby, bilancie výkonov a energie v sústave, plánovanie štruktúry a objemu podporných služieb
- operatívne riadenie prevádzky – realizácia plánov stanovená prípravou prevádzky pri súčasnom riešení vplyvu nepredvídaných prevádzkových udalostí na elektrizačnú sústavu
- zabezpečenie prevádzky – analýza plánovaných aj neplánovaných stavov elektrizačnej sústavy a spracovanie nápravných opatrení pre udržanie pravidla N-1
- hodnotenie prevádzky – analýza a vyhodnotenie prevádzky elektrizačnej sústavy

Hlavné úlohy dispečerského riadenia:

- dispečerské riadenie PS, manipulácia v PS, spolupráca s výrobcami elektriny, s dispečingom DS, riadenie spolupráce s okolitými prevádzkovateľmi PS v rámci synchrónne prepojeného systému kontinentálnej Európy
- udržiavanie trvalej rovnováhy medzi výrobou a spotrebou elektriny v elektrizačnej sústave ČR pri rešpektovaní plánov výmen elektriny zjednaných so susednými prevádzkovateľmi PS
- zaisťovanie spoľahlivého prenosu elektriny pri dodržovaní kvalitatívnych parametrov elektriny na úrovni prenosovej sústavy v reálnom čase
- prevencia a riešenie poruchových a havarijných stavov v PS a ich analýzy

Prostriedky operatívneho dispečerského riadenia

- dispečerské pokyny - prevádzkové inštrukcie a operatívne pokyny dispečera
- technické prostriedky - predovšetkým dispečerský riadiaci systém, telekomunikačné prepojenie so všetkými riadiacimi a spolupracujúcimi objektmi, riadiace systémy rozvodní, systémy chránenia až po vlastné zariadenia PS, tj. rozvodne a vedenie zvlášť vysokého napätia
- obchodné postupy - najmä aktivácia podporných služieb (PpS) na základe uzavretých zmlúv, nákupy regulačnej energie prostredníctvom vyrovnávajúceho trhu a zo zahraničia, prerozdelenie výkonu medzi elektrárňami (redispečing) [11]

Zahraničné spolupráce spoločnosti ČEPS, a.s.

ČEPS ako prevádzkovateľ prenosovej sústavy ČR spolupracuje bilaterálne predovšetkým so svojimi susednými prevádzkovateľmi prenosových sústav v Nemecku, Poľsku, Rakúsku a na Slovensku, ďalej v rámci novo vytvoreného regiónu pre výpočet kapacít Core (Core CR – 16 prevádzkovateľov prenosových sústav bývalých regiónov (CEE a CWE)) a na európskej úrovni ako člen asociácie ENTSO-E. Zástupcovia ČEPS aktívne pôsobia aj v pracovných skupinách a tímoch rady ďalších medzinárodných organizácií a skupín: CIGRE, JAO S.A., TSC – TSO Security Cooperation a TSCENET Services GmbH, e-GCC a IGCC (imbalance netting). SIDC a 4M Market Coupling. [12]

1.3. ENTSO-E

ENTSO-E, Európska sieť prevádzkovateľov prenosovej sústavy pre elektrinu, zastupuje 42 prevádzkovateľov prenosových sústav (TSO) z 35 krajín Európy. ENTSO-E bola založená a dostala právne mandáty v rámci tretieho legislatívneho balíka EÚ pre vnútorný trh s energiou v roku 2009, ktorého cieľom je ďalšia liberalizácia trhov s plynom a elektrinou v EÚ. [13]

Prevádzkovatelia európskych prenosových sústav (TSO) sú objekty pôsobiace nezávisle od ostatných účastníkov trhu s elektrinou a sú zodpovedný za hromadný prenos elektrickej energie v hlavných sieťach vysokého napätia. PPS poskytujú prístup k sieťam účastníkom trhu s elektrinou (tj. výrobným spoločnostiam, obchodníkom, dodávateľom, distribútorom a priamo prepojeným zákazníkom) podľa nediskriminačných a transparentných pravidiel. Z dôvodu zaistenia bezpečnosti dodávok zaručujú tiež bezpečnú prevádzku a údržbu systému. V mnohých krajinách sú TSO zodpovedný za rozvoj sieťovej infraštruktúry. [14]

Regionálne skupiny

ENTSO-E má päť stálych regionálnych skupín založených na synchronných oblastiach (kontinentálna Európa (najväčšia oblasť združuje 26 štátov), severská, baltská, Veľká Británia a Írsko-severné Írsko). Synchronná oblasť je skupina energetického systému, ktorá je pripojená a pracuje na rovnakej frekvencii. Regionálne skupiny podávajú správy o činnosti riadiacej skupiny a sú zastúpené na každom zasadnutí riadiacej skupiny.

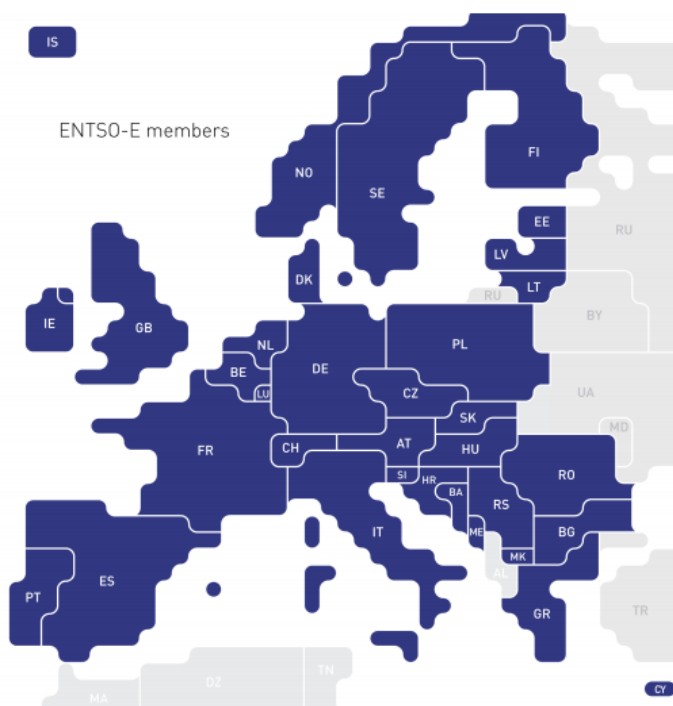
Regionálne skupiny zabezpečujú kompatibilitu medzi témami prevádzky systému, trhu a vývoja systému. Hlavné úlohy sú:

- Zdokonalenie a rozvoj prevádzkových procesov;
- Skúmanie frekvenčných odchýlok relevantných pre každú synchronnú oblasť;
- Posilnenie a údržba sieťových modelov a predpovedných nástrojov na regionálnej úrovni;
- Sledovanie a zvyšovanie výkonu a dynamického správania systému;
- Integrácia interných a prepojenie externých systémov;
- Implementácia operatívnych dohôd na regionálnej úrovni, ako sa vyžaduje v európskych usmerneniach [15]

Kontinentálna Európa

Energetický systém v kontinentálnej Európe sa rozprestiera v 26 krajinách a je jedným z najväčších vzájomne prepojených energetických systémov na svete. Energetická sústava v pobaltských štátoch je v súčasnosti asynchrónne spojená s kontinentálnou Európou prostredníctvom spojenia LitPol medzi Litvou a Poľskom a do severskej synchronnej oblasti prostredníctvom systému NordBalt medzi Litvou a Švédskom a spojenia Estlink 1 a 2 medzi Estónskom a Fínskom.

Baltská synchronizácia s kontinentálnou Európou je súčasťou stratégie energetickej únie EÚ a umožní pobaltským TSO prevádzkovať ich systémy podľa frekvencie kontinentálneho európskeho systému a podľa pravidiel EÚ. [16]



Obr. 6 Mapa štátov patriacich pod ENTSO-E [17]

Tabuľka 1 - Rozdelenie štátov do jednotlivých regionálnych skupín ENTSO-E [15]

REGIONÁLNA SKUPINA	ZÚČASTNENÉ KRAJINY
Kontinentálna Európa	Rakúsko, Albánsko, Belgicko, Bosna a Hercegovina, Bulharsko, Česká republika, Chorvátsko, Dánsko (západ), Francúzsko, Republika Severné Macedónsko, Nemecko, Grécko, Maďarsko, Taliansko, Luxembursko, Čierna Hora, Holandsko, Poľsko, Portugalsko, Rumunsko, Srbsko, Slovensko, Slovinsko, Španielsko, Švajčiarsko a Turecko (člen pozorovateľa).
Severské	Dánsko (východ), Fínsko, Nórsko a Švédsko
Pobaltské	Estónsko, Lotyšsko, Litva
UK	Veľká Británia
Írsko/ Severné Írsko	Írsko, Veľká Británia

1.3.1. Ciele ENTSO-E

Členovia ENTSO-E zdieľajú cieľ vytvoriť vnútorný trh s energiou a zabezpečiť jeho optimálne fungovanie a podporiť ambicióznú európsku energetickú a klimatickú agendu. Jednou z dôležitých otázok agendy je integrácia vysokého stupňa obnoviteľných zdrojov energie do európskeho energetického systému, rozvoj postupnej flexibility a prístup zameraný na zákazníka oveľa viac ako v minulosti.

ENTSO-E sa zaviazala vyvinúť najvhodnejšie reakcie na výzvu meniaceho sa energetického systému pri zachovaní bezpečnosti dodávok. Inovácie, trhový prístup, zameranie na zákazníka, zameranie na zainteresované strany, bezpečnosť dodávok, flexibilita a regionálna spolupráca sú kľúčom k agende ENTSO-E.

ENTSO-E prispieva k dosiahnutiu týchto cieľov hlavne prostredníctvom:

- Pozície politiky
- Návrh sieťových predpisov a príspevkov k ich implementácii
- Regionálna spolupráca prostredníctvom regionálnych bezpečnostných koordinačných iniciatív (RSCI)
- Technická spolupráca medzi PPS (Prevádzkovateľmi prenosovej sústavy)
- Zverejnenie letných a zimných výhľadov na výrobu elektriny pre krátkodobý prehľad adekvátnosti systému
- Vypracovanie dlhodobých celoeurópskych plánov sietí (TYNDP)

Prostredníctvom týchto výsledkov ENTSO-E prispieva k budovaniu najväčšieho trhu s elektrickou energiou na svete, ktorého výhody pocítia nielen všetci v energetickom sektore, ale aj celková európska ekonomika, dnes i v budúcnosti. [13]

2. DISTANČNÉ OCHRANY A ZAPISOVAČE PORÚCH

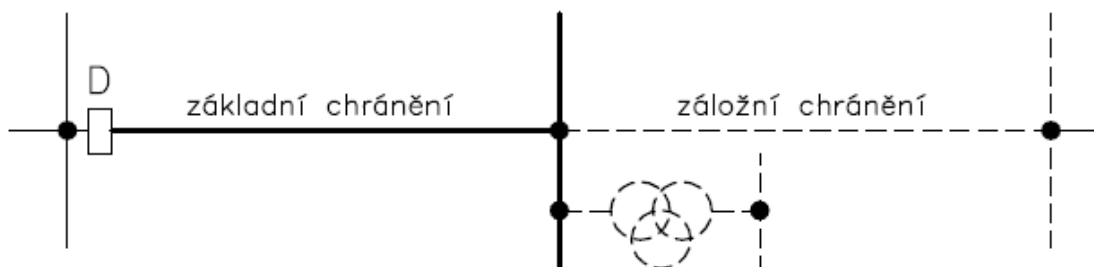
Distančné ochrany sú stále jedny z najviac rozšírených ochrán používané v prenosových a distribučných sieťach. Ich význam stále rastie v podružných distribučných sieťach VN. Sú preto dva hlavné dôvody používania:

- Táto ochrana nie je závislá na komunikácii s opačným koncom chráneného vedenia, pretože využíva prúdy a napätia meraní v mieste ochrany
- V sieti tvoria distančné ochrany tzv. relatívne selektívny ochranný systém (nechránia presne vymedzený objekt). To znamená, že sú schopné pracovať ako vzdialené záložné ochrany ďalších objektov v sieti

2.1. Využitie distančných ochrán

Distančné ochrany sú využívané k základnému a záložnému chráneniu elektrického vedenia. Môžeme ich využiť na všetkých napäťových hladinách. Prevažne sa využívajú k chráneniu elektrických vedení na zvlášť vysokom napätí (ZVN) a veľmi vysokom napätí (VVN), na vysokom napätí (VN) sa využívajú len zriedka.

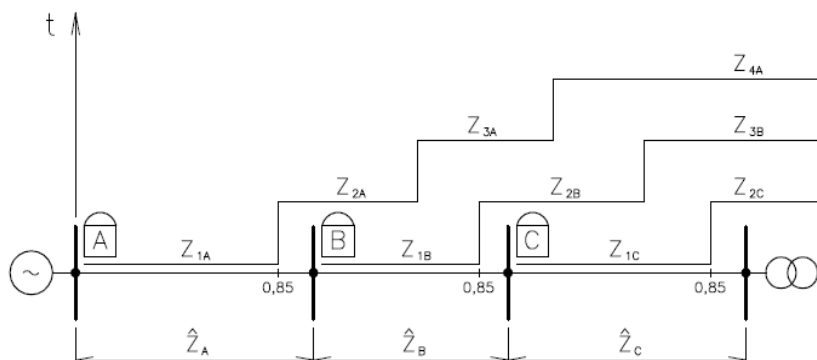
Distančné ochrany sa nevyužívajú len k chráneniu vonkajších či káblových vedení, ale využívajú sa aj k chráneniu transformátorov (sieťové, distribučné, blokové) a generátorov. U týchto zariadení však plnia distančné ochrany, len funkciu doplnkovej alebo záložnej ochrany. [18]



Obr. 7 Základné a záložné chránenie [18]

2.2. Doba vybavenia ochrany

Doba vybavenia ochrany v prípade vzniku skratu je závislá na vzdialenosti poruchy. Vďaka tejto vlastnosti sú distančné ochrany schopné selektívneho vypínania. Ochrana sa nastavuje tak, že pre najbližší úsek vedenia je rýchlosť vypnutia obmedzená len rýchlosťou okamžitého zapnutia ochrany a rýchlosti akcie vypínača. Pre vzdialenejšie úseky sa k vypínacím časom pripočítava čas oneskorovacieho členu, aby pred vypnutím skratu vzdialeného pre túto ochranu zapôsobila ochrana najbližšie k skratu s najmenším vybavovacím časom. Na Obr. 8 je vzorový príklad možného nastavenia troch distančných ochrán chrániacich 3 úseky elektrického vedenia.



Obr. 8 Nastavenie impedančnej časovej charakteristiky [18]

Pre správnu funkciu selektívneho vypínania sa musia jednotlivé ochrany nastaviť tak, aby nedošlo k zbytočnému vypnutiu bezporuchových miest. Zapôsobenie vzdialenejšej distančnej ochrany môže spôsobiť odchýlky prevodov prístrojových transformátorov prúdu (PPT) a napätia (PTN). Ďalšími možnými nepresnosťami môžu byť obmedzené informácie o chránených vedeniach a nepresných výpočtoch. Vplyvom týchto odchýlok a nepresností by mohlo dôjsť v koncových častiach vedenia k prekrytiu impedančnej časovej charakteristiky. V základnom stupni ochrany, prvom bez časového oneskorovacieho členu, sa preto chráni 80% až 90% dĺžky vedenia. Ďalšie impedančné stupne sú časovo predĺžené o určitý čas, ktorý sa pohybuje od 0,3 do 0,5s. Pri voľbe tohto času sa musí zohľadniť tieto faktory:

- rýchlosť okamžitého zapôsobenia ochrany - $0,15 \div 0,25$ ms
- rýchlosť vypínača - $40 \div 80$ ms
- veľkosť bezpečnostnej medzery - z dôvodu zachovania selektivity

Druhý stupeň ochrany sa nastavuje s ohľadom na prvý stupeň opačnej ochrany, ktorá je v smere chránenia. Aby bolo chránené vedenie spoľahlivo chránené, musí sa zaistiť zhruba 20% presah opačnej rozvodne. Matematicky je možné zapísať impedancie jednotlivých impedančných stupňov ochrany takto:

[18]

$$Z_{1A} = 0,85 \cdot Z_A$$

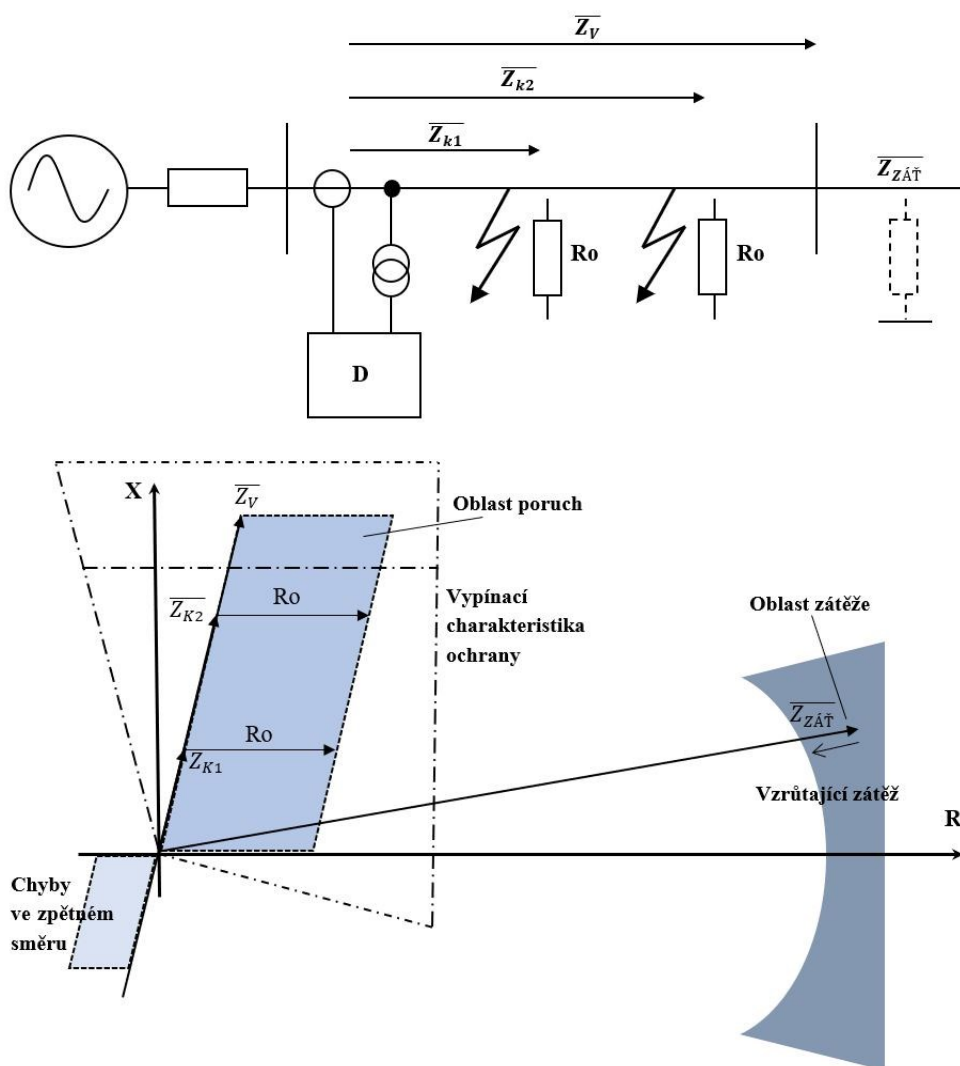
$$Z_{2A} = 0,85 \cdot (Z_A + Z_{1B}) = 0,85 \cdot (Z_A + 0,85 \cdot Z_B)$$

$$Z_{3A} = 0,85 \cdot (Z_A + Z_{2B}) = 0,85 \cdot (Z_A + 0,85 \cdot (Z_B + Z_C))$$

2.3. Charakteristika distančnej ochrany

U distančných ochrán sa používa impedančná charakteristika. Vďaka ktorej môžeme veľmi dobre posudzovať chovanie ochrany. Do komplexnej roviny R-X sú zakresľované charakteristiky ochrany a meranej skratovej aj záťažovej impedancie. Zo vzájomnej pozície týchto troch impedancií, môžeme posudzovať chovanie ochrany v sieti.

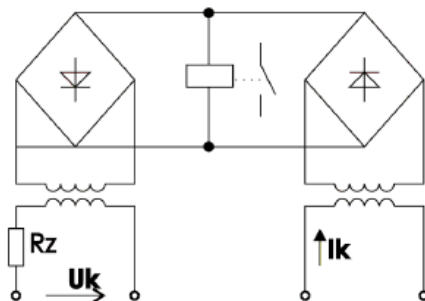
Normálnemu stavu ochrany zodpovedá zmeraná impedancia ležiaca v oblasti záťaže ako môžeme vidieť na Obr. 9. Jej veľkosť je nepriamo úmerná veľkosti odoberaného výkonu $Z_{Z\dot{A}\ddot{T}} = \frac{U^2}{S}$. Uhol medzi napätím a prúdom zodpovedá uhlu záťažovej impedancie $Z_{Z\dot{A}\ddot{T}}$. Je závislý na pomere odoberaného jalového a činného výkonu. [19]



Obr. 9 Oblasti v impedančnej rovine [19]

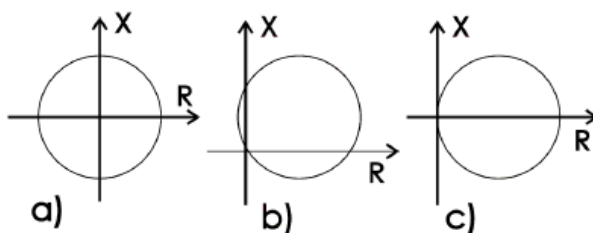
V prípade výskytu poruchy sa zameraná impedancia rýchlo zmení na impedanciu skratovú. Tá je omnoho menšia než impedancia záťaže a zodpovedá impedancii vedenia medzi miestom ochrany a miestom skratu (Z_{K1} a Z_{K2}). V prípade oblúkového skratu alebo iného prechodového odporu v mieste poruchy sa k tejto impedancii Z_K navyše pripočíta reálna zložka R_0 . Uhol skratovej impedancie väčšinou býva väčší než uhol záťažovej impedancie. Vypínacie charakteristiky ochrany predstavujú v diagrame pevné krivky. Tým sú jednak oddelené oblasti záťaže a oblasti porúch (popudová charakteristika) a taktiež definované dosahy jednotlivých distančných stupňov. Ďalej sú v tejto rovine definované oblasti porúch smerom „vpred“ do chráneného vedenia a v oblasti „vzad“ do prípojnic.

Charakteristiky ochrán sú všeobecné geometrické útvary skladajúce sa z priamok a kruhov. U digitálnych ochrán môžeme vďaka číslícovému spracovaniu vytvoriť prakticky akýkoľvek tvar vypínacej charakteristiky. U konvenčných elektromagnetických ochrán je poruchová impedancia porovnávaná s impedanciou vedenia a tým je rozlíšené, či sa jedná o vnútornú alebo vonkajšiu poruchu. K tomu býva použité mostíkové zapojenie dvoch usmerňovačov s citlivým relé v uhlopriečke.



Obr. 10 Zapojenie distančnej ochrany [19]

Takýto článok má potom kruhovú charakteristiku. Určitými modifikáciami zapojenia môžeme dosiahnuť posunutie tejto charakteristiky v impedančnej rovine (Obr. 11). Tým je dosiahnuté väčšie pokrytie prechodových odporov v mieste poruchy. Digitálne ochrany prevádzajú zmerané veličiny do číslícovej podoby. Tieto hodnoty sa ďalej filtrujú, numericky spracovávajú a ukladajú. Pomocou zložitých výpočtových metód sa určuje hodnota poruchovej impedancie ($R + jX$). Výsledok je porovnaný s nastavenou charakteristikou a prípadne je vyslaný vypínací povel na vypínač. Vďaka použitiu číslícovej techniky môže byť zrealizovaný prakticky akýkoľvek tvar vypínacej charakteristiky. Ako vedľajší produkt výpočtu vystupuje z distančnej ochrany vzdialenosť k miestu poruchy. Túto hodnotu môžeme ďalej prenášať do riadiaceho systému, kde sa ďalej využije k zefektívneniu práce na odstránenie poruchy. [19]



Obr. 11 Vypínacie char.: a) impedančná; b) polarized MHO; c) konduktančná [19]

2.4. Poruchový záznam

Kompletné a spoľahlivé informácie o poruchách v primárnom a sekundárnom systéme, ktoré sú doplnené nepretržitým spracovaným záznamom udalostí. Sú získané pomocou funkcie poruchového záznamu. Funkcia poruchového záznamu je súčasťou ochrany a zaisťuje zber vzorkovaných dát všetkých navolených analógových vstupov a binárnych signálov pripojených k tomuto funkčnému bloku, to je maximálne 40 analógových a 96 binárnych signálov.

Funkcia poruchového záznamu je spoločný názov pre niekoľko nasledujúcich funkcií:

- výpis udalostí
- indikácia
- zapisovač udalostí
- zapisovač vypínacích hodnôt
- poruchový zapisovač
- lokátor poruchy

Funkcia poruchového záznamu je charakterizovaná veľkou flexibilitou z hľadiska konfiguračných možností, podmienok pre spustenie, časov záznamu a veľké záznamové kapacity. Porucha je definovaná ako aktivácia vstupu alebo niektorých funkčných blokov, ktoré sú nastavené pre spustenie poruchového zapisovača. V zázname sú obsiahnuté všetky signály v časovom úseku od okamihu spustenia času pred poruchou až do konca času záznamu po poruche. Každý zápis poruchového záznamu je uložený v ochrane v štandardnom formáte COMTRADE. Taktiež všetky udalosti sú trvale ukladané v kruhovej vyrovnávacej pamäti. [20]

2.5. Poruchový zapisovač

Funkcia poruchového zapisovača je zdrojom rýchlo získaných, kompletných a spoľahlivých informácií o poruche v energetickom systéme. Táto funkcia umožňuje analyzovať a porozumieť chovaniu systému a so systémom spojeného primárneho a sekundárneho zariadenia behom poruchy a po poruche. Zaznamenané informácie sú použité pre rôzne účely, a to ako k rýchlejšej reakcii na poruchu (napr. opravné opatrenia), tak aj k následnej akcii (napr. funkčná analýza).

Poruchový zapisovač vykonáva zber vzorkovaných dát všetkých navolených vstupných analógových a binárnych signálov, ktoré sú pripojené k funkcii poruchového záznamu (maximálne 40 analógových a 96 binárnych signálov). U binárnych signálov sa jedná o rovnaké signály, ktoré sú k dispozícii vo funkcii zapisovača udalostí.

Funkcia poruchového zapisovača je charakterizovaná veľkou flexibilitou a nie je závislá na pôsobení ochranných funkcií. Funkcia môže detegovať a zaznamenať aj stavy, ktoré nie si detegované ochrannými funkciami. V ochrane sú uložené informácie poruchového zapisovača o posledných 100 poruchách a pre zobrazenie zoznamu záznamu je použitá jednotka miestneho ovládania. [20]

3. POPIS FORMÁTU COMTRADE PRE VÝMENU ZÁZNAMU ZO ZAPISOVAČOV PORUCH

3.1. COMTRADE súbory

Každý COMTRADE záznam obsahuje množinu až štyroch súborov, ktoré mu prináležia. Každý z týchto štyroch súborov obsahuje inú triedu informácií. Týmito štyrmi súbormi sú záhlavie, konfiguračný, dátový a informačný. Všetky súbory v danej množine musia mať rovnaký názov súboru, líšiaci sa len denotáciami (rozšíreným označením), ktoré udávajú typ polí. [21]

Názvy súborov majú tvar xxxxxxxx.yyy. Časť xxxxxxxx je názov použitý k identifikácii záznamu (napríklad PORUCHA1 alebo TEST_2). Časť .yyy v názve súboru sa používa k identifikácii typu súboru a je známy ako denotácia: .HDR pre súbor záhlavia, .CFG pre konfiguračný súbor, .DAT pre dátové súbory a .INF pre informačný súbor. Názvy súborov musia splňovať dohodu pre DOS kompatibilné s IBM pre povolené znaky v názvoch súborov (napr. bodky a medzery nie sú v názve súboru povolené). Názvy súborov sú obmedzené na osem znakov a denotácie sú obmedzené na tri znaky. [21]

3.2. Súbor záhlavia (xxxxxxx.HDR)

Súbor záhlavia je nepovinný textový ASCII (*ASCII – Americký štandardný kód pre výmenu informácií*) súbor vytvorený autorom COMTRADE dát obvykle pomocou textového procesora. Dáta sú určené k tomu, aby ich používateľ mohol vytlačiť a prečítať. Tvorca súboru záhlavia môže zahrnúť ľubovoľné informácie v poradí v akom chce. [21]

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<DisturbanceRecording HeaderFileVersion="1.0" >
<generals>
<general name="RecorderId" value="1" />
<general name="TrigDateTime" value="17/07/2020,07:36:38.808" />
<general name="TrigChannel" value="IN" />
<general name="TrigWhileIEDinTestMode" value="0" />
<general name="SequenceNumber" value="0" />
<general name="RecordingNumber" value="860" />
<general name="TypeOfTimeSync" value="SNTP" />
<general name="DistRecInst" value="1" />
<general name="EventRecInst" value="1" />
<general name="FaultLocInst" value="0" />
<general name="LineLength" value="-1.000000E+00" />
<general name="DisRecPlatform" value="DISREC 5A" />
<general name="ThreePhaseIED" value="1" />
<general name="SystemFreq" value="5.000000E+01" />
<general name="TotalRecordingTime" value="2885" />
<general name="PreTrigRecordingTime" value="301" />
<general name="PostFaultRecordingTime" value="2499" />
<general name="RecordingTimeLimitSetting" value="5000" />
<general name="PreTrigRecordingTimeSetting" value="300" />
<general name="PostFaultRecordingTimeSetting" value="2500" />
<general name="SamplingFrequency" value="1000" />
<general name="IEDsourceType" value="REC670 1.2.3_0" />
<general name="IEDmodVersionNo" value="1.2.3.0" />
<general name="StationId" value="Sokolnice " />
<general name="ObjectId" value="V20350K" />
<general name="IEDid" value="REC670/1.2" />
<general name="StationNumber" value="205" />
<general name="ObjectNumber" value="4" />
<general name="IEDnumber" value="1" />
<general name="ActiveSettingGroup" value="1" />
</generals>
<analoguechannels>
```

Obr. 12 Časť súboru záhlavia z poruchy na vedení V203

3.3. Konfiguračný súbor (xxxxxxx.CFG)

Konfiguračný súbor je textový ASCII súbor určený k tomu, aby bol čítaný programom v strojovom kóde a teda musí byť zapísaný v zvláštnom formáte. Konfiguračný súbor obsahuje informácie, ktoré program v strojovom kóde potrebuje pre správnu interpretáciu dátového (.DAT) súboru. Táto informácia zahŕňa také položky ako sú vzorkovacia rýchlosť, počet kanálov, riadkový kmitočet, informácie kanálu apod.

Jedno pole v prvom riadku konfiguračného súboru udáva rok revízie COMTRADE normy, ktorú súbor spĺňa, napr. 1996, 2000 apod. Pokiaľ toto pole neexistuje alebo pokiaľ je prázdne, predpokladá sa, že tento súbor spĺňa pôvodné vydanie normy (1991). Konfiguračný súbor obsahuje tiež pole určujúce, či je združený dátový súbor uložený v ASCII alebo dvojkovom formáte.

Konfiguračný súbor môže byť vytvorený v programe automatického spracovania textu alebo programom v strojovom kóde, ktorý vytvára konfiguračný súbor z informácií dostupných v dátach, ktoré sú zdrojom prechodného záznamu. Pokiaľ sa pre vytvorenie konfiguračného súboru použije textový procesor, musia byť dáta zapísané v ASCII formáte textového súboru. [21]

```
Opocinek 220kV,CfgID,2001
56,8A,48D
1,IL1,,,A,3.419939E-03,0,0,-32767,32767,600.00000000,1.00000000,P
2,IL2,,,A,6.547949E-02,0,0,-32767,32767,600.00000000,1.00000000,P
3,IL3,,,A,6.060041E-03,0,0,-32767,32767,600.00000000,1.00000000,P
4,IN,,,A,6.756814E-02,0,0,-32767,32767,600.00000000,1.00000000,P
5,UL1,,,V,6.515265E+00,0,0,-32767,32767,220000.00000000,100.00000000,P
6,UL2,,,V,6.353330E+00,0,0,-32767,32767,220000.00000000,100.00000000,P
7,UL3,,,V,5.895701E+00,0,0,-32767,32767,220000.00000000,100.00000000,P
8,U0,,,V,6.425381E+00,0,0,-32767,32767,127050.00000000,33.33000183,P
1,RELZ G START,,,0
2,RELZ L1 VYP,,,0
3,RELZ L2 VYP,,,0
4,RELZ L3 VYP,,,0
5,CIVKA1 VYP,,,0
6,STR Z PRIJEM,,,0
7,STR E PRIJEM,,,0
8,LFZP G START,,,0
9,LFZP L1 VYP,,,0
10,LFZP L2 VYP,,,0
11,LFZP L3 VYP,,,0
12,CIVKA2 VYP,,,0
13,ROP ASV VYP,,,0
14,ASV V203 VYP,,,0
15,OZ RUCNE ZAP,,,0
16,VYPINAC BL OZ,,,0
17,VYPINAC BLOK,,,0
18,NE POLU START,,,0
19,REZERVA,,,0
20,REZERVA,,,0
```

Obr. 13 Časť konfiguračného súboru z poruchy na vedení V203

3.4. Dátový súbor (xxxxxxx.DAT)

Dátový súbor obsahuje pre každý vstupný kanál hodnotu každého vzorku v záznamu. Číslo uložené pre daný vzor je verzia hodnoty v určenej mierke predaná zariadením, ktoré vzorkovalo tvar signálu na vstupe. Dátové pole tiež obsahuje pre každý súbor vzorkov, poradové číslo a časový údaj.

Okrem dát predstavujúce analógové vstupy sa tiež často zaznamenávajú vstupy predstavujúce signály zap/vyp. Tie sa väčšinou vťahujú k digitálnym vstupom, digitálnym kanálom, digitálnym jednotlivým kanálom, vstupom udalostí, vstupom logických hodnôt, dvojkovým vstupom, kontaktným vstupom, alebo stanovým vstupom. V tejto norme sa tento typ vstupu vzťahuje k stavovému vstupu. Stav stavového vstupu predstavujú čísla 1 a 0 v dátovom súbore. [21]

Obr. 14 Časť dátového súboru z poruchy na vedení V203

29

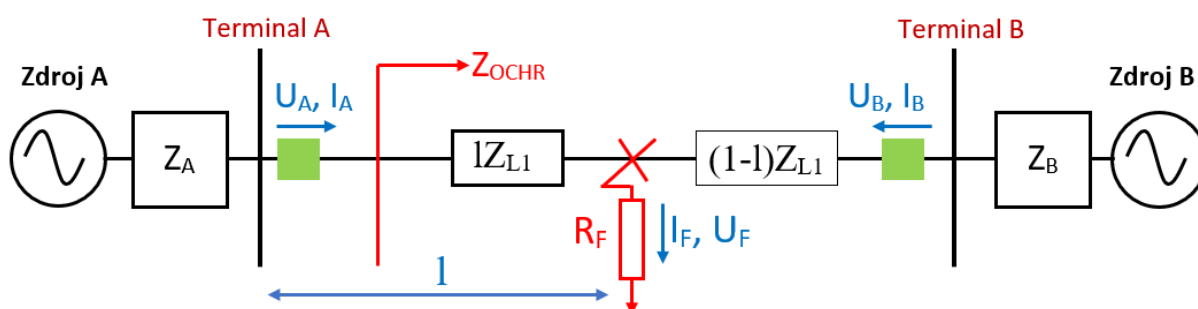
4. METÓDY PRE VÝPOČET VZDIALENOSTI PORUCH

Vedenia prenosovej sústavy sú často vystavené elektrickým poruchám v dôsledku úderov blesku v búrkovom období, kontaktu zvierat alebo stromov s prenosovým vedením alebo zlyhania izolácie v napájacích zariadeniach. Aby sa urýchlilo obnovenie služby a zvýšila spoľahlivosť systému, na určenie polohy porúch prenosového vedenia sa bežne používajú algoritmy lokalizácie porúch založené na impedancii, pretože je ľahké ich implementovať a priniesť rozumne odhady polohy. Priebehy napätia a prúdu zachytené počas poruchy inteligentnými elektronickými zariadeniami (IED), ako sú digitálne relé, digitálne zapisovače porúch a zapisovače sekvenčných udalostí, sa používajú na odhad zmeranej impedancie medzi zariadením IED a lokalizáciou skratovej chyby. Vzhľadom na impedanciu vedenia v ohmoch je možné presne odhadnúť vzdialenosť poruchy.

Pre aplikácie v prenosových vedeniach bolo vyvinutých množstvo algoritmov lokalizácie porúch založených na impedancii. Algoritmy na lokalizáciu porúch využívajúce údaje zachytené zariadením IED na jednom konci vedenia sa bežne označujú ako jednostranné algoritmy, zatiaľ čo algoritmy používajúce údaje zachytené IED na oboch koncoch prenosového vedenia sa označujú ako obojstranné algoritmy. Každý algoritmus má špecifické požiadavky na vstupné údaje a pri výpočte vzdialenosti poruchy vytvára určité predpoklady. Tieto predpoklady, môžu ale nemusia platiť v konkrétnom scenári lokalizácie porúch. Inými slovami, žiadny algoritmus, ktorý lokalizuje poruchy nefunguje presne v rôznych scenároch poruchy. Voľba najlepšieho prístupu k lokalizácii poruchy z tak širokého výberu algoritmov pre lokalizáciu poruchy založených na impedancii je preto ťažkou úlohou a vyžaduje podrobné pochopenie pracovného princípu každého algoritmu pre lokalizáciu poruchy. [22]

4.1. Jednostranná impedančná metóda

Ako už z názvu vyplýva algoritmy na lokalizáciu porúch založené na impedancii s jedným koncom odhadujú lokalizáciu poruchy pohľadom do prenosového vedenia len z jednej strany, ako je znázornené nižšie (Obr. 15). Priebehy napätia a prúdu zachytené počas poruchy inteligentným elektronickým zariadením IED na jednom konci vedenia sa používajú na určenie impedancie medzi zariadením IED a miestom skratovej chyby. Vzhľadom na impedanciu prenosového vedenia v ohmoch možno ľahko získať vzdialenosť miesta poruchy. Výhodou použitia algoritmov s jednou stranou je, že sa dajú priamo implementovať, poskytujú rozumné odhady polohy poruchy a vyžadujú informácie iba z jednej strany vedenia. Nie sú potrebné žiadne komunikačné kanály ani vzdialené dáta a preto je možné lokalizáciu porúch na termináli vedenia implementovať pomocou ľubovoľného numerického relé založeného na mikroprocesore. [22]



Obr. 15 VVN vedenie napájané z dvoch strán s vyznačeným miestom poruchy [22]

Pre predstavu princípu jednostrannej impedančnej metódy uvažujeme jednoduché vedenie napájané z dvoch strán ako je znázornené na Obr. 15. Prenosové vedenie je homogénne s celkovou impedanciou Z_{L1} medzi prípojniciami (terminálmi) A a B . Digitálna ochrana je umiestnená na elektrickej stanici na jednom z koncov chráneného vedenia. Pomocou prístrojových transformátorov napätia a prúdu meria ochrana fázové napätia a prúdy na príslušnom konci vedenia. Ak dôjde k poruche s odporom R_F vo vzdialenosti l od prípojnice A , oba zdroje prispievajú k celkovému poruchovému prúdu I_F , ako je naznačené na Obr. 15 fázormi U_A a I_A zo strany zdroja A a fázormi U_B a I_B zo strany zdroja B . Je treba poznamenať, že napriek tomu, že sú merania k dispozícii na oboch koncoch vedenia, metóda s jednostrannou impedanciou pracuje len s napätím a prúdom zmeraných na prípojnici A alebo B . Pomocou Kirchhoffových zákonov môžeme pokles napätia zo strany zdroja A vyjadriť ako: [22]

$$U_A = lZ_{L1}I_A + R_F I_F \quad (4.1)$$

kde veľkosti U_A a I_A závisia od typu poruchy.

Typy poruchy a algoritmy, ktoré definujú napätie U_A a prúd I_A pri poruche sú zobrazené nižšie (Tabuľka 2).

Tabuľka 2 - Definícia napätia U_A a prúdu I_A [22]

TYP PORUCHY		Napätie zo zdroja A [U_A]	Prúd zo zdroja A [I_A]
Jednofázová slučka ($Lx - A$)	A – A	$U_A - A$	$I_{AF} + k_N I_{A0}$
	B – A	$U_B - A$	$I_{BF} + k_N I_{A0}$
	C – A	$U_C - A$	$I_{CF} + k_N I_{A0}$
Medzifázová slučka ($Lx - Ly$)	AB, AB – A, ABC	$U_{AF} - U_{BF}$	$I_{AF} - I_{BF}$
	BC, BC – A, ABC	$U_{BF} - U_{CF}$	$I_{BF} - I_{CF}$
	CA, CA – A, ABC	$U_{CF} - U_{AF}$	$I_{CF} - I_{AF}$
kde: $k_N = \frac{\overline{Z_{V0}} - \overline{Z_{V1}}}{3 \cdot \overline{Z_{V1}}}$			
Vysvetlivky: G – „ground“ – zem, nulový vodič $U_{xF}; I_{xF}$ – poruchové napätie, prúd vo fázy A, B, C I_{A0} – prúd tečúci zemným vodičom (kA)			

Výpočet vzdialenosti poruchy pre 1f. skrat

Pri výpočte lokalizácie miesta poruchy pomocou jednostrannej impedančnej metódy musíme uvažovať o akú poruchu sa jedná. Výpočty pre 1f, 2f a 3f skrat sa navzájom líšia. [23]

Impedancia poruchy videná ochranou Z_{ochr}

$$Z_{ochr} = \frac{\overline{U_{L1}}}{\overline{I_{L1}} + \overline{I_N} \cdot \overline{k_N} + 3 \cdot \overline{I_{0M}} \cdot \frac{\overline{Z_M}}{3 \cdot \overline{Z_{V1}}}} \cong \frac{\overline{U_{L1}}}{\overline{I_{L1}} + \overline{I_N} \cdot \overline{k_N}} \cong \frac{\overline{U_{L1}}}{\overline{I_{L1}} + 3 \cdot \overline{I_0} \cdot \overline{k_N}} \quad (4.2)$$

kde:

$$\overline{k_N} = \frac{\overline{Z_{V0}} - \overline{Z_{V1}}}{3 \cdot \overline{Z_{V1}}} \quad \overline{I_0} = \frac{1}{3} \cdot (\overline{I_{L1}} + \overline{I_{L2}} + \overline{I_{L3}}) \quad \overline{I_N} = 3 \cdot \overline{I_0} \quad (4.3)$$

$\overline{U_{L1}}$ – Fázové napätie postihnutej fáze

$\overline{Z_{V1}}$ – Súsledná impedancia vedenia

$\overline{Z_{V2}}$ – Spätná impedancia vedenia – je rovná súslednej $\overline{Z_{V1}} = \overline{Z_{V2}}$

$\overline{Z_{V0}}$ – Nulová impedancia vedenia

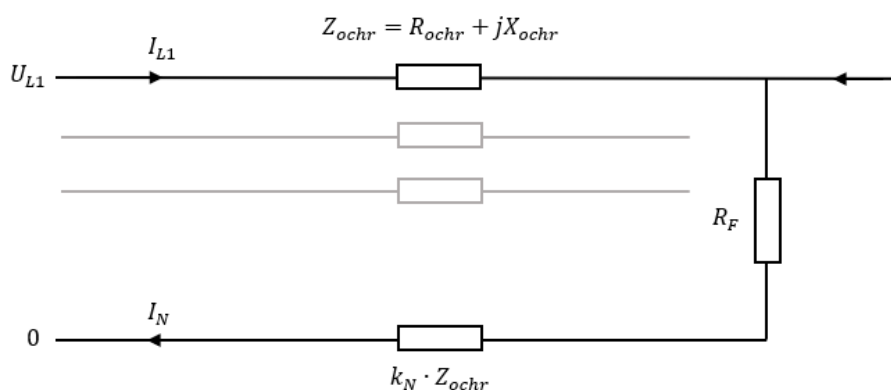
$\overline{Z_M}$ – Vzájomná impedancia od paralelného vedenia

$\overline{I_{L1}}$ – Prúd postihnutej fáze

$\overline{I_N}$ – Prúd tečúci zemným vodičom

$\overline{I_0}$ – Nulová zložka prúdu

$\overline{I_{0M}}$ – Nulová zložka prúdu tečúca paralelným vedením



Obr. 16 Schéma 1f. skratu [23]

Činný odpor poruchy

$$R_F = R_{ochr} - R_{V1} \cdot \frac{X_{ochr}}{X_{V1}} \quad (4.4)$$

Vzdialenosť poruchy

$$l_F = \frac{X_{ochr}}{X_{V1}} \cdot l_V \quad (4.5)$$

kde:

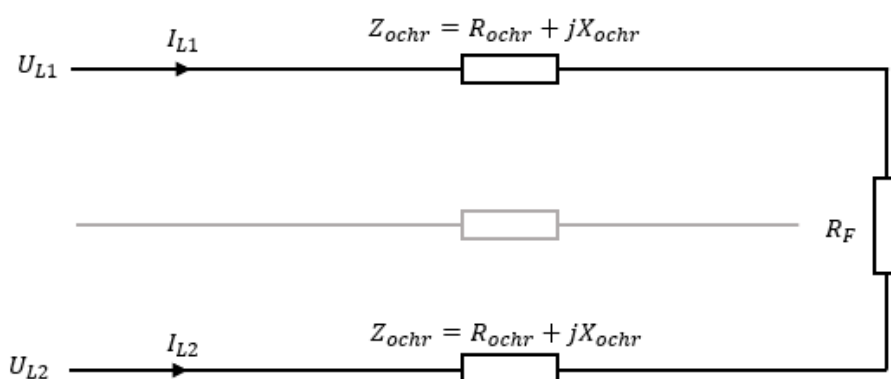
l_V – dĺžka vedenia [km]

Výpočet vzdialenosti poruchy pre 2f. skrat

V prípade výpočtu pre 2f skrat sa výpočet oproti 1f skratu líši len vo výpočte impedancie, ktorú nameria ochrana. Ostatné výpočty k dopočítaniu vzdialenosti poruchy sú rovnaké. [23]

Impedancia poruchy videná ochranou Z_{ochr}

$$Z_{ochr} = \frac{\overline{U_{L1}} - \overline{U_{L2}}}{\overline{I_{L1}} - \overline{I_{L2}}} \quad (4.6)$$



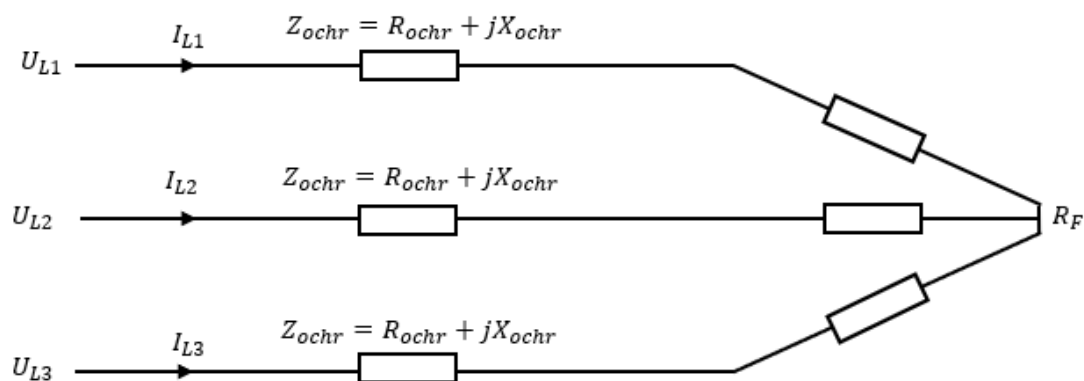
Obr. 17 Schéma 2f skratu [23]

Výpočet vzdialenosti poruchy pre 3f. skrat

Pri výpočte vzdialenosti 3f skratu sa výpočet oproti 1f skratu líši obdobne ako u 2f len vo výpočte impedancie, ktorú nameria ochrana. [23]

Impedancia poruchy videná ochranou Z_{ochr}

$$Z_{ochr} = \frac{\overline{U_L}}{\overline{I_L}} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{\overline{U_{L1}}}{\overline{I_{L1}}} + \frac{\overline{U_{L2}}}{\overline{I_{L2}}} + \frac{\overline{U_{L3}}}{\overline{I_{L3}}} \right) \quad (4.7)$$



Obr. 18 Schéma 3f skratu [23]

Jednostranná impedančná metóda sa v praxi používa najviac, kvôli svojej jednoduchosti. Aj samotný program SIGRA od spoločnosti Siemens, ktorý sa špecializuje na výpočet vzdialenosti porúch na vedeniach používa k výpočtu lokalizácie poruchy jednostrannú impedančnú metódu. V súčasnosti poznáme viacero metód, ktoré zdokonaľujú jednostrannú impedančnú metódu a snažia sa presnejšie lokalizovať miesto poruchy ako napríklad: metóda vypočítanej jednoduchkej reaktancie, Takagiho metóda, upravená Takagiho metóda alebo Novoselova metóda. Avšak tieto metódy nie sú predmetom mojej diplomovej práce a preto ich viac nebudem rozoberať.

4.2. Synchronizovaná dvojstranná metóda

Obojstranné algoritmy založené na impedancií používajú k odhadu polohy poruchy dáta zaznamenané na oboch koncoch prenosového vedenia. Princíp lokalizácie poruchy je podobný ako pri metódach s jedným koncom, to znamená, že ochrana meria napätia a prúdy daného úseku vedenia a v prípade poruchy vyhodnocuje miesto polohy poruchy na základe impedancie. Dodatočné merania zo vzdialeného konca prenosového vedenia sa používajú k vylúčeniu akejkoľvek chyby reaktancie spôsobenej odolnosťou proti poruchám, prúdom záťaže alebo nehomogenitou systému. Komunikačný kanál prenáša údaje z jedného zariadenia IED na druhé. Alternatívne je možné údaje z oboch IED zhromažďovať a spracovávať na centrálnom mieste.

Pri synchronizovanej dvojstrannej metóde sa predpokladá, že merania z oboch koncov prenosového vedenia sú synchronizované so spoločnou časovou odozvou prostredníctvom globálneho pozičného systému (GPS). Na výpočet miesta poruchy môžeme použiť ktorúkoľvek z troch symetrických zložiek. Používanie údajov spätných zložiek je však výhodnejšie, pretože na ne nemá vplyv zaťažovací prúd, vzájomná väzba s nulovou sekvenciou, neistota vedenia s nulovou sekvenciou alebo prívod zo zaťaženia s nulovou sekvenciou. [22]

Vzdialenosť poruchy zo strany A vypočítaná z dvoch strán pre 1f, 2f a 3f skrat zo synchronizovaných hodnôt:

$$l_{FA} = \left| \frac{\overline{U_{A(2)}} - \overline{U_{B(2)}} + \overline{Z_{V2}} \cdot \overline{I_{B(2)}}}{(\overline{I_{A(2)}} + \overline{I_{B(2)}}) \cdot \overline{Z_{V2}}} \right| \cdot l_V \quad (4.8)$$

kde:

$\overline{U_A}, \overline{I_A}$ napätie a prúd na strane A (začiatku) vedenia a $\overline{U_B}, \overline{I_B}$ sú napätia a prúd na strane B (konci) vedenia. Do vzorca sa dosadzujú pre 1f a 2f skrat spätné zložky hodnôt (index (2)), pre 3f skrat sa dosadzujú súsledné zložky hodnôt. [23]

Vzťahy pre prepočet veličín do súmerných zložiek

Nesymetrická sústava fázorov je označená U_F a symetrická U_S . [23]

$$U_F = \begin{bmatrix} \overline{U_{L1}} \\ \overline{U_{L2}} \\ \overline{U_{L3}} \end{bmatrix} \quad U_S = \begin{bmatrix} \overline{U_{(0)}} \\ \overline{U_{(1)}} \\ \overline{U_{(2)}} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Symetrizačná transformačná matica:

$$S = T^{-1} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Desymetrizačná matica:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

kde a je točivý operátor:

$$\bar{a} = 1e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad \bar{a}^2 = 1e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (4.12)$$

Prevod do súmerných zložiek:

$$U_S = S \cdot U_F = \begin{bmatrix} \overline{U_{(0)}} \\ \overline{U_{(1)}} \\ \overline{U_{(2)}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \overline{U_{L1}} \\ \overline{U_{L2}} \\ \overline{U_{L3}} \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

$$\overline{U_{(0)}} = \frac{1}{3} \cdot (\overline{U_{L1}} + \overline{U_{L2}} + \overline{U_{L3}}) \quad (4.14)$$

$$\overline{U_{(1)}} = \frac{1}{3} \cdot (\overline{U_{L1}} + \overline{a} \cdot \overline{U_{L2}} + \overline{a^2} \cdot \overline{U_{L3}}) \quad (4.15)$$

$$\overline{U_{(2)}} = \frac{1}{3} \cdot (\overline{U_{L1}} + \overline{a^2} \cdot \overline{U_{L2}} + \overline{a} \cdot \overline{U_{L3}}) \quad (4.16)$$

Prevod zo súmerných zložiek:

$$\overline{U_{L1}} = \overline{U_{(0)}} + \overline{U_{(1)}} + \overline{U_{(2)}} \quad (4.17)$$

$$\overline{U_{L2}} = \overline{U_{(0)}} + \overline{a^2} \cdot \overline{U_{(1)}} + \overline{a} \cdot \overline{U_{(2)}} \quad (4.18)$$

$$\overline{U_{L3}} = \overline{U_{(0)}} + \overline{a} \cdot \overline{U_{(1)}} + \overline{a^2} \cdot \overline{U_{(2)}} \quad (4.19)$$

4.3. Nesynchronizovaná dvojstranná metóda

Priebehy napätí a prúdov zachytené zariadeniami IED sa oboch koncoch prenosového vedenia sa nemusia navzájom synchronizovať. GPS zariadenie môže chýbať alebo pracovať nesprávne. Prípadne zariadenia IED môžu mať inú vzorkovaciu frekvenciu alebo môžu detegovať poruchu v mierne odlišných časových okamihoch. Komunikačný kanál, ktorý prenáša údaje z jedného IED na druhý, môže tiež zaviesť fázový posun. [22]

Vzdialenosť poruchy od strany A vypočítaná z dvoch strán pre 1f, 2f a 3f skrat z nesynchronizovaných hodnôt: [23]

Výpočet sa prevádza kvadratickou rovnicou:

$$ax^2 + bx + c = 0 \quad (4.20)$$

ktorej jednotlivé členy sa vypočítajú nasledovne:

$$a = |\overline{Z_{V2}} \cdot \overline{I_{A(2)}}|^2 - |\overline{Z_{V2}} \cdot \overline{I_{B(2)}}|^2 \quad (4.21)$$

$$b = -2 \cdot \text{Re}[\overline{U_{A(2)}} \cdot (\overline{Z_{V2}} \cdot \overline{I_{A(2)}})^* + (\overline{U_{B(2)}} - \overline{Z_{V2}} \cdot \overline{I_{B(2)}}) \cdot (\overline{Z_{V2}} \cdot \overline{I_{B(2)}})^*] \quad (4.22)$$

$$c = |\overline{U_{A(2)}}|^2 - |\overline{U_{B(2)}} - \overline{Z_{V2}} \cdot \overline{I_{B(2)}}|^2 \quad (4.23)$$

Následne sa riešením kvadratickej rovnice vypočítajú dve vzdialenosti od strany A z nich jedna je správna

$$l_{FA1} = \left(\frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \right) \cdot l_V \quad (4.24)$$

$$l_{FA2} = \left(\frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \right) \cdot l_V \quad (4.25)$$

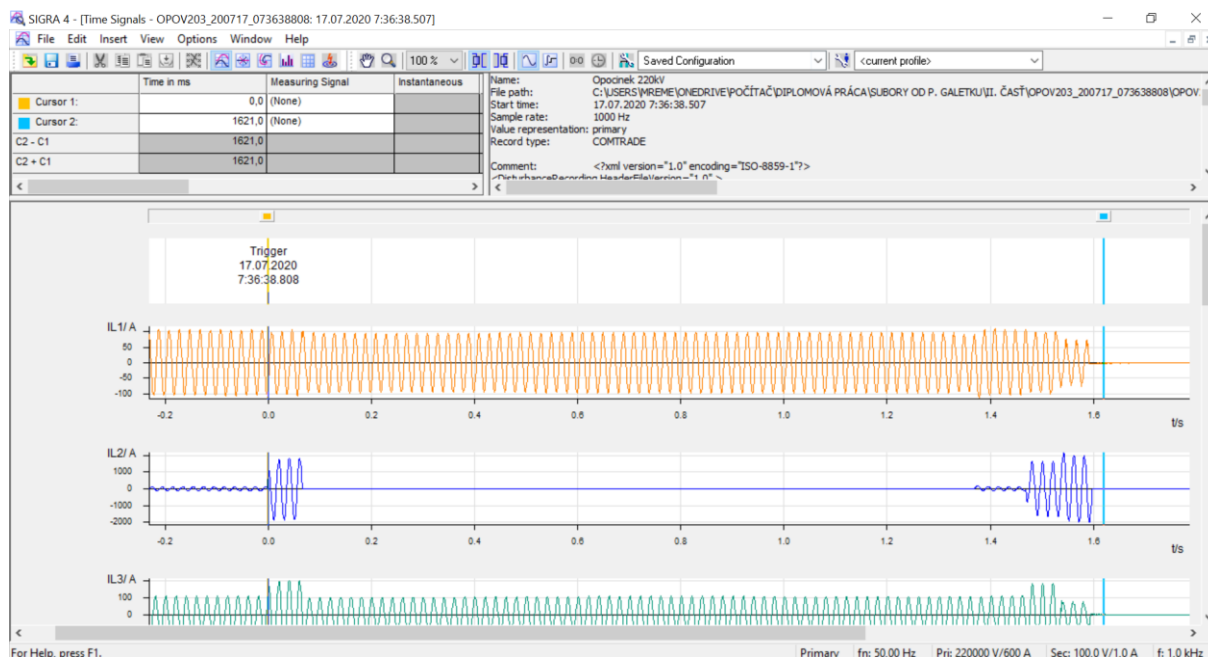
5. VÝPOČET VZDIALENOSTI PORÚCH JEDNOTLIVÝMI METÓDAMI NA KONKRÉTNOM ZÁZNAME PORUCHY

5.1. Program SIGRA

Pre zobrazenie priebehov napätí a prúdov v jednotlivých vodičoch vedenia V203 som použil program SIGRA od spoločnosti Siemens. Program okrem obvyklého zobrazenia časového signálu záznamu nameraných premenných je určený aj na zobrazovanie vektorových diagramov, kruhových diagramov, stĺpcových grafov na indikáciu harmonických z dátových tabuliek. Z nameraných hodnôt, ktoré boli zaznamenané do záznamov o poruchách, SIGRA počíta ďalšie hodnoty, ako napríklad: neprítomné veličiny v trojvodičovom systéme, impedancie, výstupy, symetrické súčasti atď. Pomocou dvoch meracích kurzorov je možné: vyhodnotiť stopu poruchy jednoducho a pohodlne. Pomocou SIGRA však môžete pridať ďalšie záznamy o poruchách. Signály iného záznamu poruchy (napr. z opačného konca linky) sa pridávajú k aktuálnemu vzoru signálu.

SIGRA ponúka možnosť zobraziť signály z rôznych záznamov o poruchách v jednom diagrame a plne automaticky synchronizovať tieto signály do spoločnej časovej základne. Okrem zisťovania podrobností o poruche na trati je zvlášť dôležitá lokalizácia poruchy. Presné určenie miesta poruchy ušetrí čas, ktorý je možné použiť na kontrolu poruchy na mieste. Tento aspekt podporuje aj SIGRA s jej funkciou „lokalizácie lokálnej chyby“. [24]

SIGRA sa dá použiť na všetky záznamy o poruchách pomocou formátu súboru COMTRADE. Tento formát som podrobne opísal v kapitole č. 3.



Obr. 19 Pracovná plocha programu SIGRA

5.2. Poruchy vznikajúce na vonkajších vedeniach

Poruchy, ktoré vznikajú na vonkajších vedeniach môžu byť buď prechodné alebo trvalé.

- a) prechodné skraty nastávajú napr. náhodným priblížením vodičov, prepätím od atmosférických výbojov a pod. Pri vypnutí vedenia, ak je bez-napäťová pauza dostatočne dlhá dochádza k deionizácii oblúka a porucha zmizne. Ak zapneme vedenie opäť po určitej dobe porucha sa neobjaví.
- b) tzv. semipermanentný skraty môžu vzniknúť spadnutím vetvi na vedenie, vtákmi atď. Tieto poruchy po vypnutí vedenia nemusia zaniknúť, ale je nutná určitá doba trvania skratu pre ich „vypálenie“. Napr. niekoľkonásobným zapnutím a vypnutím vedenia.
- c) Trvalé skraty, ktoré opätovným zapnutím neodstránime.

Opätovné zapnutie vykonáva automatika, ktorá pri skrate v spolupráci s normálnymi ochranami (napr. distančnými alebo porovnávacími ochranami) kontroluje vypnutie vedenia a po určitej nastavenej dobe uskutočňuje opätovné zapnutie. Ak skrat trvá, ochrana realizuje definitívne vypnutie alebo sa cyklus znova opakuje. Ide teda o:

- jednoduchý cyklus opätovného zapnutia VYP – ZAP a v prípade trvania skratu definitívne VYP, alebo o
- viacnásobný cyklus VYP – ZAP (porucha trvá) – VYP – ZAP atď.

Štatistiky ukazujú, že u vonkajších vedení je väčšina skratov jedнопólových, preto automatiky OZ delíme na:

- jedнопólové, kedy vypínajú len postihnutú fázu
- trojpólové, kedy vypínajú všetky tri fázy

Automatiky OZ pre vedenie VVN sú prevádzkované tak, že po prvom cykle pôsobí jedнопólové vypínanie a pri zistení trvalého skratu vykonávajú vypnutie všetkých troch fáz. U vonkajších vedení je asi 80% skratov prechodového rázu a pôsobením automatiky OZ je ich možné úspešne likvidovať. U káblových vedení je vznik prechodovej poruchy nepravdepodobný a preto je tam použitie OZ neúčelné. Ďalšou výhodou OZ je v tom, že:

- a) skracuje u prechodových porúch dobu výpadku
- b) priaznivo prispieva k udržaniu stability chodu elektrizačnej sústavy, zvlášť priaznivý vplyv má použitie jedнопólového OZ v sieťach VVN
- c) zachovanie dynamickej stability a synchronizmu v celej energetickej sústave

Doba beznapäťovej pauzy musí byť dostatočná, aby deionizovaná dráha oblúku prechodového skratu zanikla. Závisí na dobe trvania oblúku, to je na dobe vypnutia a volí sa na základe skúseností minimálne 0,3s pre prvú beznapäťovú pauzu. Pri opakovanom cykle OZ býva druhá beznapäťová pauza dlhšia, rádovo v sekundách.

Niekedy sa používa tzv. dopínanie, kedy po neúspešnom cykle OZ je celý cyklus po dobe 0,5 až 3 minúty spustený znova. Stáva sa, že po tejto dobe porucha zmizne a vedenie „drží“.

Pre spoluprácu s automatikou OZ sú vhodné vypínače s krátkou dobou vypnutia, aby po dobu trvania skratu danú súčtom doby vlastnej ochrany a doby vypínača nedošlo k strate stability chodu elektrizačnej sústavy. Je nutné brať do úvahy, že očakávaný počet cyklov OZ vyžaduje vhodnú konštrukciu vypínačov, ale aj ich pohon pre opakované vypnutie a zapnutie. [25]

5.3. Porucha na vedení V203

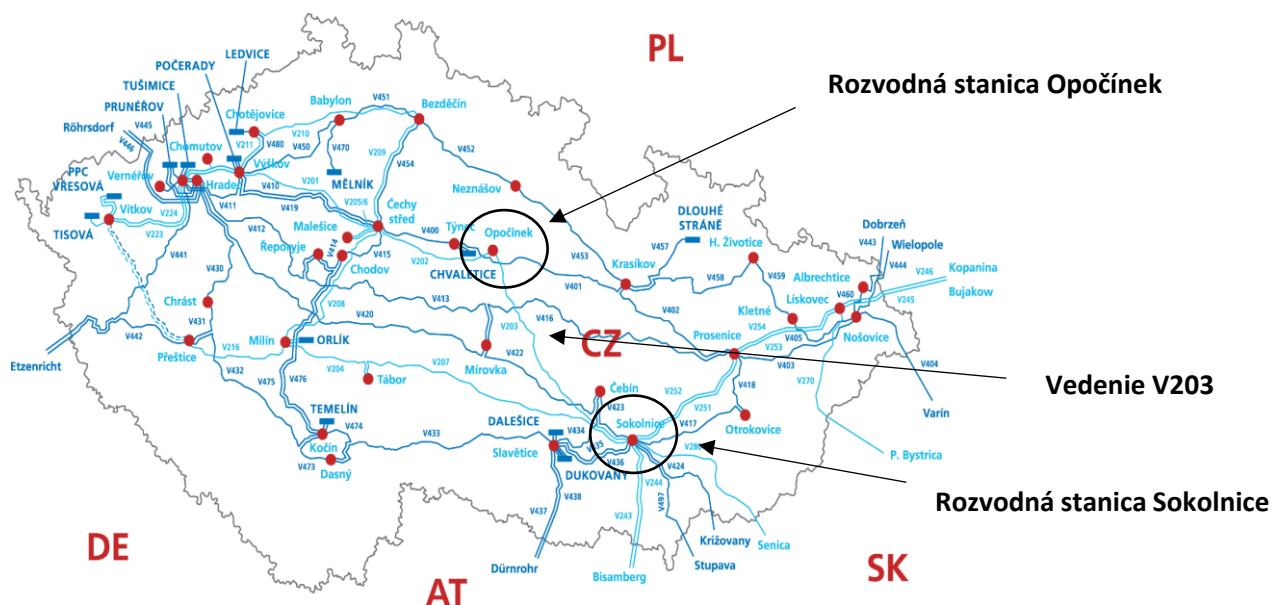
Na vedení V203, ktoré začína v rozvodni Sokolnice a končí v Opočínku nastal jedнопólový skrat, kedy došlo k preskoku z fázy L2 na izolátor na stožiare č. 259. Ochrana vyhodnotila, že sa jedná o jedнопólový skrat na fáze L2 a túto fázu vypla. Následne po uplynutí stanovenej doby automatika OZ fázu znova zapla, ale keďže skrat naďalej trval celé vedenie V203 automatika OZ vypla. Pri tejto poruche hovoríme o neúspešnom OZ. Lokalizátory porúch, ktoré sú súčasťou distančných ochrán určili na základe impedancie a algoritmov, s ktorými pracujú prvé odhady miesta poruchy. Tieto informácie odoslala ochrana prostredníctvom internetového pripojenia do riadiaceho systému. Po zistení poruchy sa odoslala pochôdzka na kontrolu vedenia. Miesto poruchy, ktoré je zobrazené na Obr. 20 nebolo nájdené ihneď na prvej obhliadke vedenia, ale až neskôr, keď bola vykonaná lezecká prehliadka. Pri prvej prehliadke vedenia skontrolovali pracovníci vedenie od stožiaru 241 až po stožiar 284, čo v prepočte na vzdialenosť znamená, že skontrolovali úsek v dĺžke 11,9 km. Po neúspešnej obhliadke, kedy pracovníci nenašli žiadnu chybu na vedení sa vedenie V203 znova zaplo. Pracovníci spoločnosti ČEPS, a.s. ale naďalej pracovali na zisťovaní príčiny poruchy. Pomocou ostatných metód na lokalizáciu poruchy a programu SIGRA spresňovali miesto lokalizácie poruchy. Pri druhej kontrole našli pracovníci poruchu pomocou kamery, ktorá bola pripevnená na bezpilotnom lietadle – drone.



Obr. 20 Miesto poruchy na stožiare 259 [23]

Časové zhodnotenie priebehu poruchy:

- 7:36:38.808 - Zaznamenanie poklesu napätie a nárastu prúdu, automatické zapnutie zapisovača poruch REC 670
- 7:36:38.826 - Nábeh distančnej ochrany REL 670
- 7:36:38,875 - Dochádza k vypnutiu fázy L2
- 7:36:40,058 - Neúspešný cyklus OZ vedenia V203 vo fázy L2, lokalizátory SOK2= 61,1 km (stožiar č. 251); OPO2= 81,3 km (stožiar č. 275)
- 7:36:40,406 - Dochádza k vypnutiu vedenia V203
- 7:47 - Vyslaná pochôdzka na obhliadku vedenia v úseku stožiarov od čísla 241 až 284
- 13:09 - Vykonaná obhliadka vedenia v úseku stožiarov od 234 až 284, bez nálezu.
- 13:14 - Vykonané skúšobné zapnutie – V203 zapnuté v SOK2 úspešne pod napätím dispečerom ČEPS
- 13:14 - V203 zapnuté do prenosu OPO2 dispečerom ČEPS



Obr. 21 Vyznačené vedenia V203 jeho s jeho začiatkom a koncom [23]

5.4. Vlastnosti vedenia V203

Jednotlivé vyššie popísané metódy, ktorými som sa v tejto diplomovej práci zaoberal som aplikoval na vedenie s označením V203. Jedná sa o vedenie veľmi vysokého napätia s uzemneným uzlom a s napäťovou hladinou 220kV. Vedenia V203 je dlhé 135,9 km jeden koniec sa nachádza v rozvodni Sokolnice a druhý v rozvodni Opočíněk. Toto vedenie je tvorené lanom AlFe 4 s prierezom 350mm². Na vedení V203 sú nainštalované 4 distančné ochrany. Každá strana vedenia disponuje dvoma distančnými ochranami, v prípade zlyhania prvej ochrany zasahuje ochrana druhá, ktorá je záložná a väčšinou býva od iného výrobcu ako ochrana prvá.

Tabuľka 3 - Ochrany na vedení V203 [23]

Rozvodňa	Pole	Distančná ochrana č.1	Distančná ochrana č.2	Zapisovač porúch	Automatika OZ
Sokolnice	ADA04	ABB REL670	SEL 431	ABB REC670	súčasťou DO
Opočínok	ADA04	ABB RELZ100	GEC ALSTHOM LFZP111S50082D	ABB REC670	ABB REXA101

Tabuľka 4 - Parametre vedenia V203 [23]

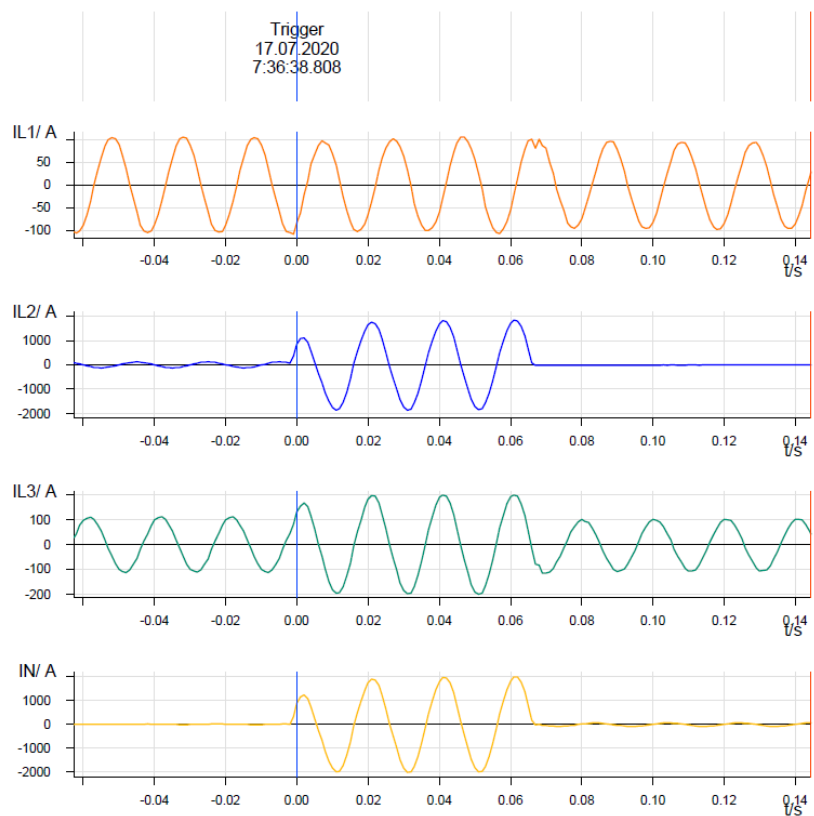
Číslo vedenia	Rozvodňa A	Rozvodňa B	I _{max} [A]	Dĺžka [km]	R1 [Ω]	X1 [Ω]	B1 [μS]	R0 [Ω]	X0 [Ω]	B0 [μS]
V203	Sokolnice	Opočínok	580	135,9	11,73	60,17	335	54,41	159,2	265

5.5. Namerané hodnoty napätí a prúdov zapisovačmi poruch REC670

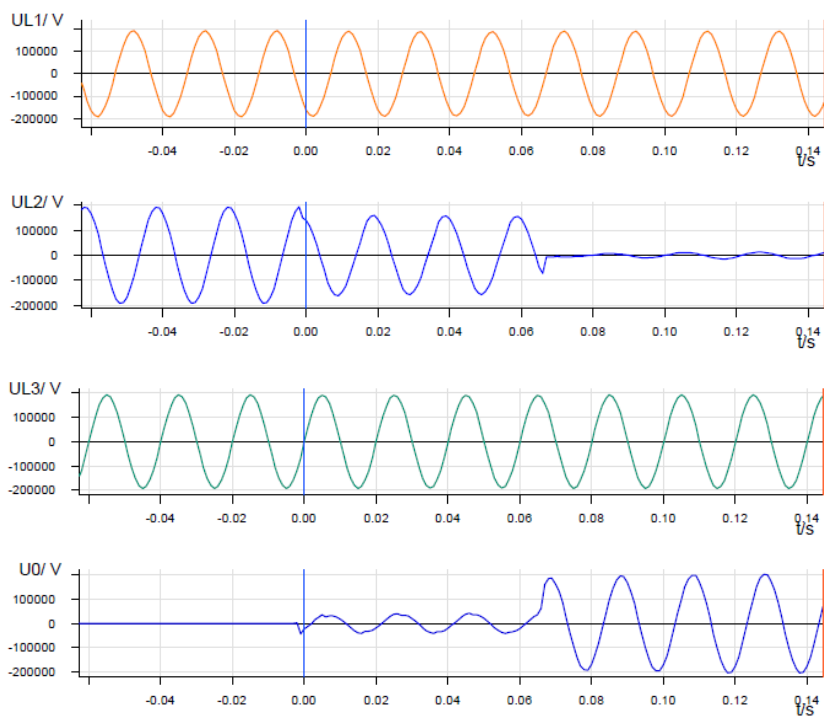
Tabuľka 5 znázorňuje prúdy a napätia jednotlivých fáz a zemného vodiča namerané ochranou zo stanice Opočínok. Údaje sú namerané v čase 7:36:38.808, kedy ochrana zaznamenala zvýšenie impedancie. Pri tomto zvýšení impedancie sa automaticky zapol zapisovač porúch, ktorý ukladá hodnoty napätia a prúdov na danom vedení, ktoré ochrana meria. Na Obr. 22 sú znázornené priebehy prúdu vo všetkých troch fázach a takisto aj v zemnom vodiči. Z priebehov je veľmi dobre vidieť nárast prúdu vo fázy L2, ktorý je zapríčinený skratom. Po 10ms dosahuje prúd IL_2 jednotky kA.

Tabuľka 5 - Namerané hodnoty I a U v čase 7:36:38.808 (0.00s)

Meraná veličina	Hodnota	Fázový uhol	R.M.S.	Reálna hodnota	Imaginárna hodnota
IL1 [A]	75,564	-55,4°	75,593	42,918	-62,193
IL2 [A]	124,5	137,9°	221,9	-92,4	83,4
IL3 [A]	80,45	62,4°	80,803	37,254	71,305
IN [A]	92,49	98,2°	212,5	-13,23	91,54
UL1 [V]	135 360	-121,8°	135 370	-71 230	-115 110
UL2 [V]	131 070	118,8°	131 460	-63 184	114 840
UL3 [V]	135 680	-1,8°	135 680	135 610	-4 239
U0 [V]	4 628,70	-76,7°	11 297	1 067,30	-4 504



Obr. 22 Priebeh prúdov IL1, IL2, IL3, IN v čase 0.00s



Obr. 23 Priebeh napätí UL1, UL2, UL3, U0 v čase 0.00s

Pri jednofázovom skrate dochádza k zvýšeniu prúdu a poklesu napätia v poškodenej fáze. Okamžité hodnoty napätí v jednotlivých fázach ako aj v zemnom vodiči sú zobrazené vyššie (Obr. 23). Fázové napätie vo fázy L2 sa pred poruchou pohybuje v hodnotách približne 135kV. Avšak pri skrate nastáva rýchly pokles a hodnota fázového napätia klesne za 60ms na jednotky kV. Z priebehov si môžeme taktiež všimnúť, že napätie, ktoré klesá vo fázy L2 sa objavuje na zemnom vodiči, kde napätie U_0 postupom času stúpa na desiatky kV. Zemný vodič je spojený s fázou L2 za pomoci horiaceho oblúka. Vedenie V203 je prevádzkované s uzemneným, uzlom a teda pri tejto poruche hovoríme o jednofázovom skrate a nie o zemnom spojení.

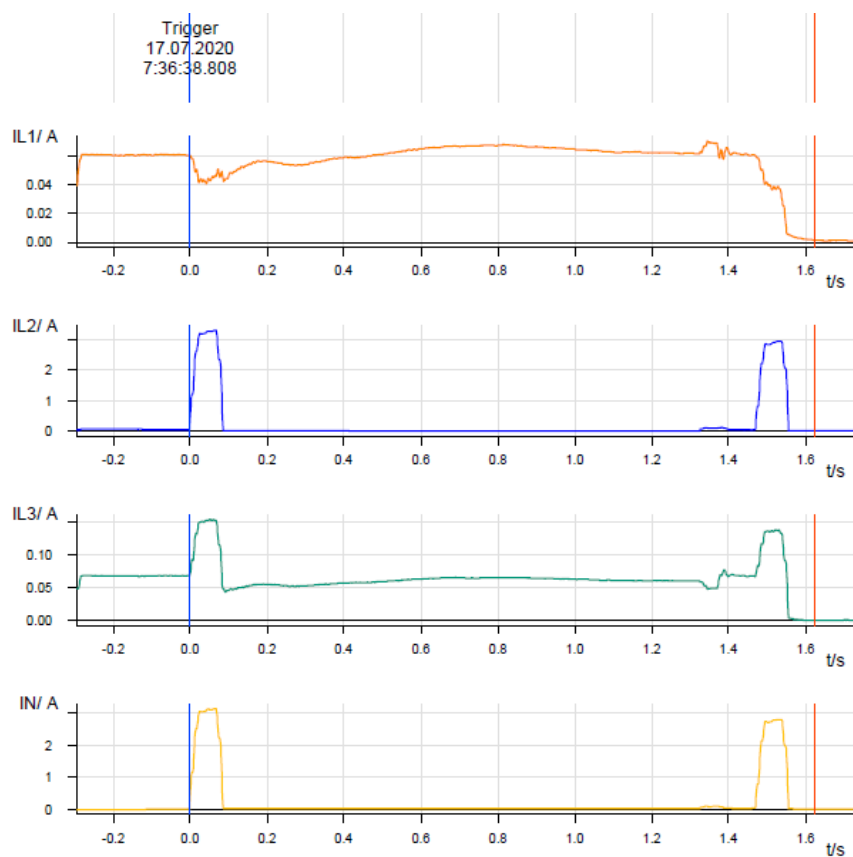
5.6. Výpočet lokalizácie miesta poruchy pomocou jednostrannej impedančnej metódy

Lokalizácia poruchy zo strany Sokolníc

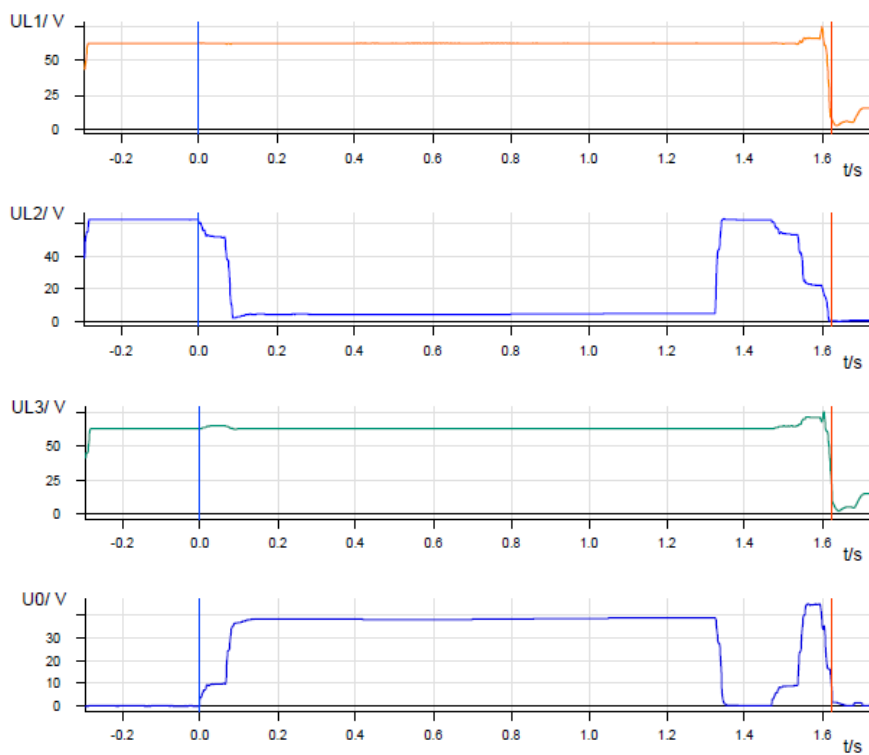
Pri výpočte lokalizácie miesta poruchy pomocou jednostrannej impedančnej metódy, kedy sa jedná o 1-fázový skrat som postupoval podľa vopred určených krokov a vzorcov. Pri tejto metóde musíme vypočítať impedanciu Z_{ochr} , ktorú nameria ochrana v čase, kedy porucha pretrváva z jednotlivých napätí a prúdov. Tabuľka 6 znázorňuje umiestnené dáta zo strany Sokolníc v čase 47ms, teda 20ms pred vypnutím fázy L2.

Tabuľka 6 - Namerané údaje zo strany Sokolníc v čase 47ms

Meraná veličina	Hodnota	Fázový uhol	Komplexné číslo
IL1 [A]	26,291	136°	-18,912 + 18,263j
IL2 [A]	1 955,6	59,6°	989,599 + 1686,731j
IL3 [A]	91,122	-122,1°	-48,422 - 77,191j
IN [A]	1 872,5	60,6°	919,217 + 1631,347j
UL1 [V]	137 380	-126,4°	-81 523,88 - 110 576,309j
UL2 [V]	114 310	104,6°	-28 814,048 + 110 618,835j
UL3 [V]	141 990	-9,7°	139 960,035 - 23 923,807j
U0 [V]	37 568	-39°	29 195,819 - 23 642,308j



Obr. 24 Priebehy efektívnych hodnôt prúdov v jednotlivých vodičoch



Obr. 25 Priebehy efektívnych hodnôt napätí v jednotlivých vodičoch

Na Obr. 24 a Obr. 25 sú zobrazené priebehy efektívnych hodnôt prúdov a napätí v jednotlivých vodičoch vedenia V203 zo strany Sokolníc. Ochrana REL670 zaznamenala pokles napätia a nárast prúdu, tým pádom došlo k zmene impedancie a automatickému zapnutiu zapisovača poruch. V poškodenej fáze L2 si môžeme všimnúť princíp fungovania automatiky opätovného zapnutia. Automatika opätovného zapnutia previedla takzvaný jednoduchý cyklus opätovného zapnutia VYP – ZAP – VYP. Inými slovami povedané, že automatika opätovného zapnutia vypla v čase 67ms fázu L2. Po uplynutí 1200ms znova fázu L2 zapla v čase 1325ms. Po opätovnom zapnutí skrat ďalej trval a ochrana vedenie V203 vypla. Na tomto príklade môžeme vidieť, že jednoduchý cyklus OZ bol nastavený na 1,2s.

Priebeh výpočtov:

Impedancia zmeraná ochranou:

$$\begin{aligned}
 Z_{ochr} &= \frac{\overline{U_{L2}}}{\overline{I_{L2}} + \overline{I_N} \cdot \overline{k_N} + 3 \cdot \overline{I_{0M}} \cdot \frac{\overline{Z_M}}{3 \cdot \overline{Z_{V1}}} } \cong \frac{\overline{U_{L2}}}{\overline{I_{L2}} + \overline{I_N} \cdot \overline{k_N}} \cong \frac{\overline{U_{L2}}}{\overline{I_{L2}} + 3 \cdot \overline{I_0} \cdot \overline{k_N}} \quad (5.1) \\
 &= \frac{(-28814,048 + 110618,835j)}{(989,599 + 1686,731j) + 3 \cdot (306,702 + 543,295j) \cdot 0,5487} \\
 &= \underline{(27,255 + 26,945j)\Omega} \\
 \underline{Re\{Z_{ochr}\} = 27,255; Im\{Z_{ochr}\} = 26,945j}
 \end{aligned}$$

Prúd $\overline{I_0}$ vypočítaný z prúdov IL1, IL2, IL3:

$$\begin{aligned}
 \overline{I_0} &= \frac{1}{3} \cdot (\overline{I_{L1}} + \overline{I_{L2}} + \overline{I_{L3}}) = \frac{1}{3} \cdot ((-18,912 + 18,263j) + (989,599 + 1686,731j) \\
 &= (-48,422 - 77,191j)) = \underline{(306,702 + 543,295j)A} \quad (5.2)
 \end{aligned}$$

Nulová impedancia vedenia:

$$Z_{V0} = (R_0 + jX_0) = \underline{(54,41 + 159,22j)\Omega} \quad (5.3)$$

Súsledná a spätná impedancia vedenia:

$$Z_{V1} = Z_{V2} = (R_1 + jX_1) = \underline{(11,73 + 60,17j)\Omega} \quad (5.4)$$

Koeficient k_N :

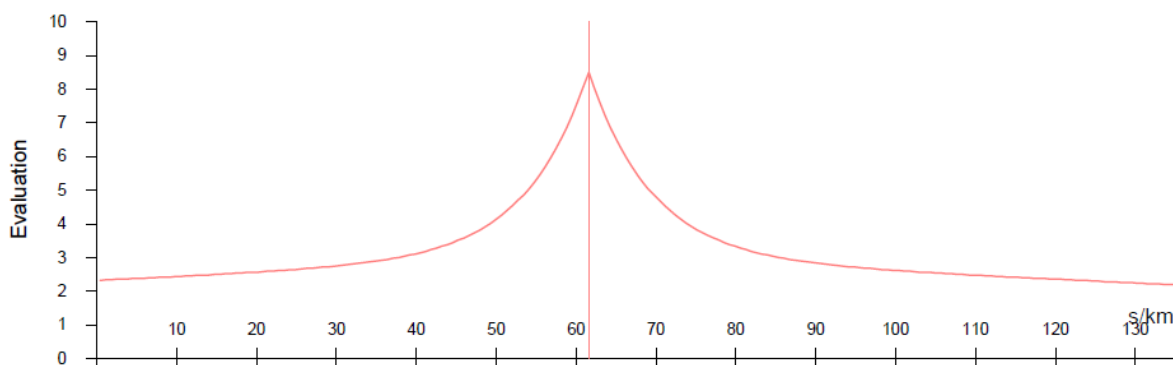
$$\overline{k_N} = \frac{\overline{Z_{V0}} - \overline{Z_{V1}}}{3 \cdot \overline{Z_{V1}}} = \frac{(54,41 + 159,22j) - (11,73 + 60,17j)}{3 \cdot (54,41 + 159,22j)} = \underline{0,5487} \quad (5.5)$$

Činný odpor poruchy:

$$R_F = R_{ochr} - R_1 \cdot \frac{X_{ochr}}{X_1} = 27,255 - 11,73 \cdot \frac{26,945j}{60,17j} = \underline{22,003\Omega} \quad (5.6)$$

Vzdialenosť poruchy:

$$l_F = \frac{X_{ochr}}{X_1} \cdot l_V = \frac{26,945j}{60,17j} \cdot 135,9 = \underline{60,85km} \quad (5.7)$$



Obr. 26 Výpočet miesta poruchy zo strany Sokolníc v programe SIGRA

Lokalizácia poruchy zo strany Opočínku

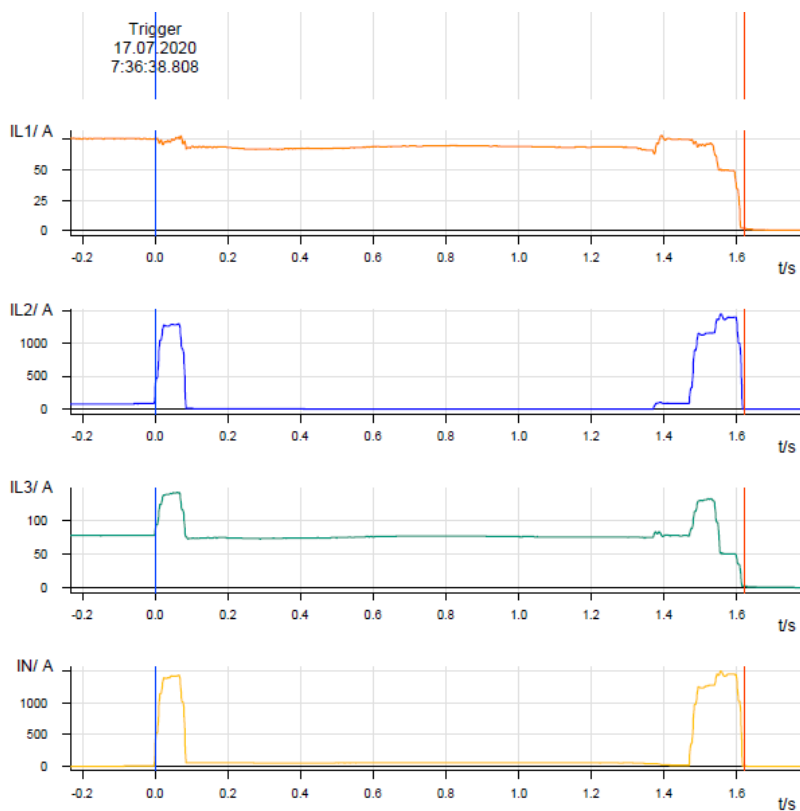
Tabuľka 7 zhrňuje dáta, ktoré zaznamenala ochrana REL 670, zo strany Opočínok. Hodnoty prúdov a napätí z vedenia V203 sú v čase 47ms a teda 20ms pred vypnutím fáze L2.

Tabuľka 7 - Namerané údaje zo strany Opočínku v čase 47ms

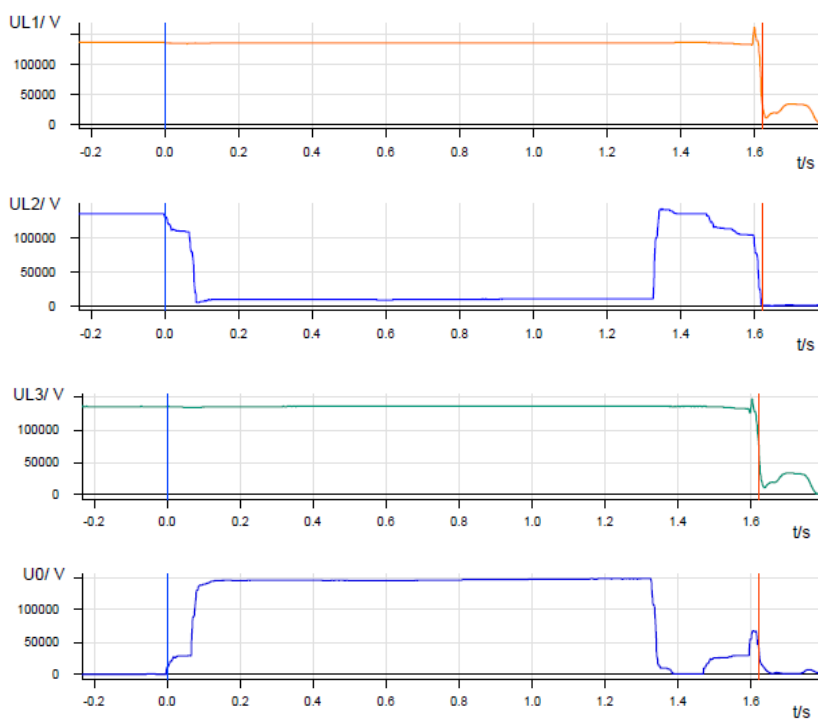
Meraná veličina	Hodnota	Fázový uhol	Komplexné číslo
IL1 [A]	75,332	-32,9°	63,250 - 40,918j
IL2 [A]	1 294,7	69,7°	449,177 + 1214,284j
IL3 [A]	140,33	70,8°	46,149 + 132,524j
IN [A]	1 419,7	66,7°	561,555 + 1303,9188j
UL1 [V]	134 000	-123,3°	-73 569,057 - 111 998,186j
UL2 [V]	109 410	109,6°	-36 701,756 + 103 070,505j
UL3 [V]	134 790	-2,1°	134 699,474 - 4 939,205j
U0 [V]	28 675	-29,2°	25 031,040 - 139 89,375j

Na Obr. 27 sú zobrazené efektívne hodnoty prúdov, ktoré tečú jednotlivými vodičmi na vedení V203 v čase poruchy.

Prúd IL_2 dosahoval pred poruchou desiatky ampérov podobne ako prúdy vo fázach $L1$ a $L3$. V čase poruchy však prúd skokovo stúpol a po niekoľkých desiatkach ms dosiahol skratový prúd viac ako 1,2kA. Po 67ms dochádza k vypnutiu fázy $L2$.



Obr. 27 Priebeh efektívnych hodnôt prúdov v jednotlivých vodičoch



Obr. 28 Priebeh efektívnych hodnôt napätí v jednotlivých vodičoch

Priebeh výpočtov:

Impedancia zmeraná ochranou:

$$\begin{aligned}
 Z_{ochr} &= \frac{\overline{U_{L2}}}{\overline{I_{L2}} + \overline{I_N} \cdot \overline{k_N} + 3 \cdot \overline{I_{0M}} \cdot \frac{\overline{Z_M}}{3 \cdot \overline{Z_{V1}}} \cong \frac{\overline{U_{L2}}}{\overline{I_{L2}} + \overline{I_N} \cdot \overline{k_N}} \cong \frac{\overline{U_{L2}}}{\overline{I_{L2}} + 3 \cdot \overline{I_0} \cdot \overline{k_N}} \\
 &= \frac{(-36701,756 + 103070,505j)}{(449,177 + 1214,284j) + 3 \cdot (186,192 + 435,296j) \cdot 0,5487} \\
 &= \underline{(39,839 + 34,599j)\Omega} \\
 \underline{Re\{Z_{ochr}\} = 39,839; Im\{Z_{ochr}\} = 34,599j}
 \end{aligned} \tag{5.8}$$

Prúd $\overline{I_0}$ vypočítaný z prúdov $\overline{I_{L1}}$, $\overline{I_{L2}}$, $\overline{I_{L3}}$:

$$\begin{aligned}
 \overline{I_0} &= \frac{1}{3} \cdot (\overline{I_{L1}} + \overline{I_{L2}} + \overline{I_{L3}}) = \frac{1}{3} \cdot ((63,250 - 40,918j) + (449,177 + 1214,284j) \\
 &= +(46,149 + 132,524j)) = \underline{(186,192 + 435,296j)A}
 \end{aligned} \tag{5.9}$$

Nulová impedancia vedenia:

$$Z_{V0} = (R_0 + jX_0) = \underline{(54,41 + 159,22j)\Omega} \tag{5.10}$$

Súsledná a spätná impedancia vedenia:

$$Z_{V1} = Z_{V2} = (R_1 + jX_1) = \underline{(11,73 + 60,17j)\Omega} \tag{5.11}$$

Koeficient k_N :

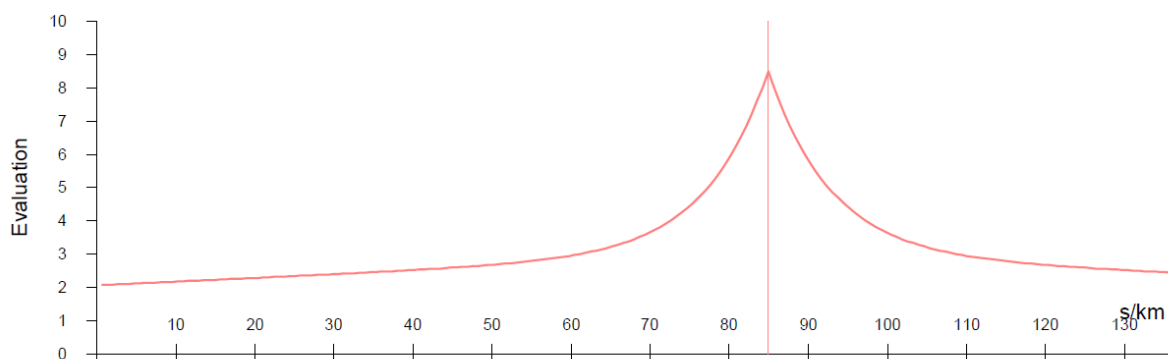
$$\overline{k_N} = \frac{\overline{Z_{V0}} - \overline{Z_{V1}}}{3 \cdot \overline{Z_{V1}}} = \frac{(54,41 + 159,22j) - (11,73 + 60,17j)}{3 \cdot (54,41 + 159,22j)} = \underline{0,5487} \tag{5.12}$$

Činný odpor poruchy:

$$R_F = R_{ochr} - R_1 \cdot \frac{X_{ochr}}{X_1} = 39,839 - 11,73 \cdot \frac{34,599j}{60,17j} = \underline{33,105\Omega} \tag{5.13}$$

Vzdialenosť poruchy:

$$l_F = \frac{X_{ochr}}{X_1} \cdot l_V = \frac{34,599j}{60,17j} \cdot 135,9 = \underline{78,14km} \tag{5.14}$$



Obr. 29 Výpočet miesta poruchy zo strany Opočínku v programe SIGRA

Na Obr. 29 vidíme ako vypočítal miesto poruchy zo strany Opočínku program SIGRA. Výsledky môjho výpočtu a výpočtu miesta poruchy v programe SIGRA sa líši o 6,76 km. Tento rozdiel je zapríčinený tým, že program SIGRA pracuje s jednostrannou impedančnou metódou a do svojho výpočtu vzdialenosti poruchy započítala aj odpor poruchy. Táto chyba je jednou z najväčších nevýhod jednostrannej impedančnej metódy, preto pri vzniku poruchy na vedení sa miesto poruchy vždy overuje pomocou dvojstrannej synchronizovanej alebo nesynchronizovanej metódy, kde sú výsledky presnejšie. Výsledky dvojstrannej synchronizovanej prípadne nesynchronizovanej metódy sa vždy musia prepočítavať manuálne.

5.7. Výpočet lokalizácie miesta poruchy pomocou synchronizovanej dvojstrannej metódy

Ako už z názvu vyplýva synchronizovaná dvojstranná metóda pracuje s dátami, ktoré sú namerané na oboch koncoch vedenia. Pojem synchronizovaná metóda značí, že priebehy nie sú voči sebe posunuté tzn., že zapisovače porúch, ktoré sa nachádzajú na oboch koncoch vedenia, začali zapisovať údaje v rovnaký čas, čiže v 7:36:38.808. Hodnoty napätí a prúdov sú viditeľné v Tabuľka 6 a Tabuľka 7 v čase 47ms, čiže 20ms pred vypnutím fázy L2.

Pri počítaní vzdialenosti miesta poruchy, či už zo strany Sokolníc alebo Opočínku potrebujeme spätné zložky napätia a prúdu z obidvoch koncov vedenia.

Priebeh výpočtu:

Matice pre výpočet veličín do súmerných zložiek, použijeme z rovníc od (4.9) po (4.12).

Lokalizácia poruchy zo strany Sokolníc

Prevod do súmerných zložiek:

$$U_S = S \cdot U_F = \begin{bmatrix} \overline{U_{(0)}} \\ \overline{U_{(1)}} \\ \overline{U_{(2)}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \overline{U_{L1}} \\ \overline{U_{L2}} \\ \overline{U_{L3}} \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

$$\begin{aligned} \overline{U_{A(0)}} &= \frac{1}{3} \cdot (\overline{U_{L1}} + \overline{U_{L2}} + \overline{U_{L3}}) = \\ &= \frac{1}{3} \cdot ((-81\,523,88 - 110\,576,309j) + (-28\,814,048 + 110\,618,835j) \\ &\quad + (139\,960,035 - 23\,923,807j)) = \underline{(9874,033 - 7960,427j)V} \end{aligned} \quad (5.16)$$

$$\begin{aligned} \overline{U_{A(1)}} &= \frac{1}{3} \cdot (\overline{U_{L1}} + \bar{a} \cdot \overline{U_{L2}} + \bar{a}^2 \cdot \overline{U_{L3}}) = \\ &= \left((-81\,523,88 - 110\,576,309j) + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (-28\,814,048 + 110\,618,835j) \right. \\ &\quad \left. + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (139\,960,035 - 23\,923,807j) \right) = \underline{(-84538,075 - 100028,822j)V} \end{aligned} \quad (5.17)$$

$$\begin{aligned} \overline{U_{A(2)}} &= \frac{1}{3} \cdot (\overline{U_{L1}} + \bar{a}^2 \cdot \overline{U_{L2}} + \bar{a} \cdot \overline{U_{L3}}) = \\ &= \frac{1}{3} \cdot \left((-81\,523,88 - 110\,576,309j) + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (-28\,814,04 + 110\,618,8j) \right. \\ &\quad \left. + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot (139\,960,035 - 23\,923,807j) \right) = \underline{(-6859,844 - 2587,059j)V} \end{aligned} \quad (5.18)$$

Rovnakým spôsobom prevedieme aj prúdy a dostaneme:

$$\overline{I_{A(0)}} = \frac{1}{3} \cdot (\overline{I_{L1}} + \overline{I_{L2}} + \overline{I_{L3}}) = \underline{(307,421 + 542,601j)A} \quad (5.19)$$

$$\overline{I_{A(1)}} = \frac{1}{3} \cdot (\overline{I_{L1}} + \bar{a} \cdot \overline{I_{L2}} + \bar{a}^2 \cdot \overline{I_{L3}}) = \underline{(-672,367 + 37,482j)A} \quad (5.20)$$

$$\overline{I_{A(2)}} = \frac{1}{3} \cdot (\overline{I_{L1}} + \bar{a}^2 \cdot \overline{I_{L2}} + \bar{a} \cdot \overline{I_{L3}}) = \underline{(346,033 - 561,820j)A} \quad (5.21)$$

Výpočet miesta poruchy zo strany A – Sokolnice:

$$l_{FA} = \left| \frac{\overline{U_{A(2)}} - \overline{U_{B(2)}} + \overline{Z_{V2}} \cdot \overline{I_{B(2)}}}{(\overline{I_{A(2)}} + \overline{I_{B(2)}}) \cdot \overline{Z_{V2}}} \right| \cdot l_V = \quad (5.22)$$
$$= \left| \frac{(-6859,844 - 2587,059j) - (-9676,254 - 4208,672j) + ((11,73 + 60,17j) \cdot (250,806 - 354,451j))}{((346,033 - 561,820j) + (250,806 - 354,451j)) \cdot (11,73 + 60,17j)} \right| \cdot$$
$$135,9 = \underline{\underline{60,52km}}$$

Lokalizácia miesta poruchy zo strany B – Opočínok:

Keďže pri výpočte vzdialenosti miesta poruchy pri dvojstrannej metóde používame prúdy a napätia z jedného ako aj druhého konca vedenia stačí nám výsledok vzdialenosti iba z jeden strany. Tým pádom pri dĺžke vedenia 135,9 km by mala byť porucha zo strany B - Opočínku vo vzdialenosti 75,38 km od rozvodne B.

5.8. Výpočet lokalizácie miesta poruchy pomocou nesynchronizovanej dvojstrannej metódy

Nesynchronizovaná dvojstranná metóda eliminuje chybu spôsobenú synchronizáciou času dvoch záznamov z jednotlivých koncov vedenia, kedy sa záznamy poruchy nahrávajú nezávisle na sebe. Hodnoty jednotlivých napätí a prúdov sú získané v čase 47ms, teda 20ms pred vypnutím fáze L2 a sú zobrazené v Tabuľka 6 a Tabuľka 7. Pre výpočet miesta lokalizácie pomocou dvojstrannej nesynchronizovanej metódy použijeme rovnice od (4.20) po rovnicu (4.25).

Priebeh výpočtu zo strany Sokolníc:

$$a = |\overline{Z_{V2}} \cdot \overline{I_{A(2)}}|^2 - |\overline{Z_{V2}} \cdot \overline{I_{B(2)}}|^2 = \quad (5.23)$$
$$= |(11,73 + 60,17j) \cdot (346,033 - 561,820j)|^2 - |(11,73 + 60,17j) \cdot (250,806 - 354,451j)|^2 = \underline{\underline{927\,635\,109,9}}$$

$$b = -2 \cdot \operatorname{Re}[\overline{U_{A(2)}} \cdot (\overline{Z_{V2}} \cdot \overline{I_{A(2)}})^* + (\overline{U_{B(2)}} - \overline{Z_{V2}} \cdot \overline{I_{B(2)}}) \cdot (\overline{Z_{V2}} \cdot \overline{I_{B(2)}})^*] \quad (5.24)$$
$$= -2 \cdot \operatorname{Re} [(-6859,844 - 2587,059j) \cdot ((11,73 + 60,17j) \cdot (346,033 - 561,820j)) + ((-9676,254 - 4208,672j) - (11,73 + 60,17j) \cdot (346,033 - 561,820j)) \cdot ((11,73 + 60,17j) \cdot (250,806 - 354,451j))] = -2 \cdot (-1\,285\,942\,047) = \underline{\underline{2\,571\,884\,093}}$$

$$c = |\overline{U_{A(2)}}|^2 - |\overline{U_{B(2)}} - \overline{Z_{V2}} \cdot \overline{I_{B(2)}}|^2 \quad (5.25)$$
$$= |(-6859,844 - 2587,059j)|^2 - |(-9676,254 - 4208,672j) - ((11,73 + 60,17j) \cdot (346,033 - 561,820j))|^2 = \underline{\underline{-1\,327\,830\,543}}$$

Vzdialenosť poruchy zo strany Sokolníc:

$$\begin{aligned}
l_{FA1} &= \left(\frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \right) \cdot l_v \\
&= \left(\frac{-2\,571\,884\,093 + \sqrt{2\,571\,884\,093^2 - 4 \cdot 927\,635\,109,9 \cdot (-1\,327\,830\,543)}}{2 \cdot (-1\,327\,830\,543)} \right) \quad (5.26) \\
&\cdot 135,9 = \underline{60,46 \text{ km}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
l_{FA2} &= \left(\frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \right) \cdot l_v \\
&= \left(\frac{-2\,571\,884\,093 - \sqrt{2\,571\,884\,093^2 - 4 \cdot 927\,635\,109,9 \cdot (-1\,327\,830\,543)}}{2 \cdot (-1\,327\,830\,543)} \right) \quad (5.27) \\
&\cdot 135,9 = \underline{-437,24 \text{ km}}
\end{aligned}$$

Priebeh výpočtu zo strany Opočínku:

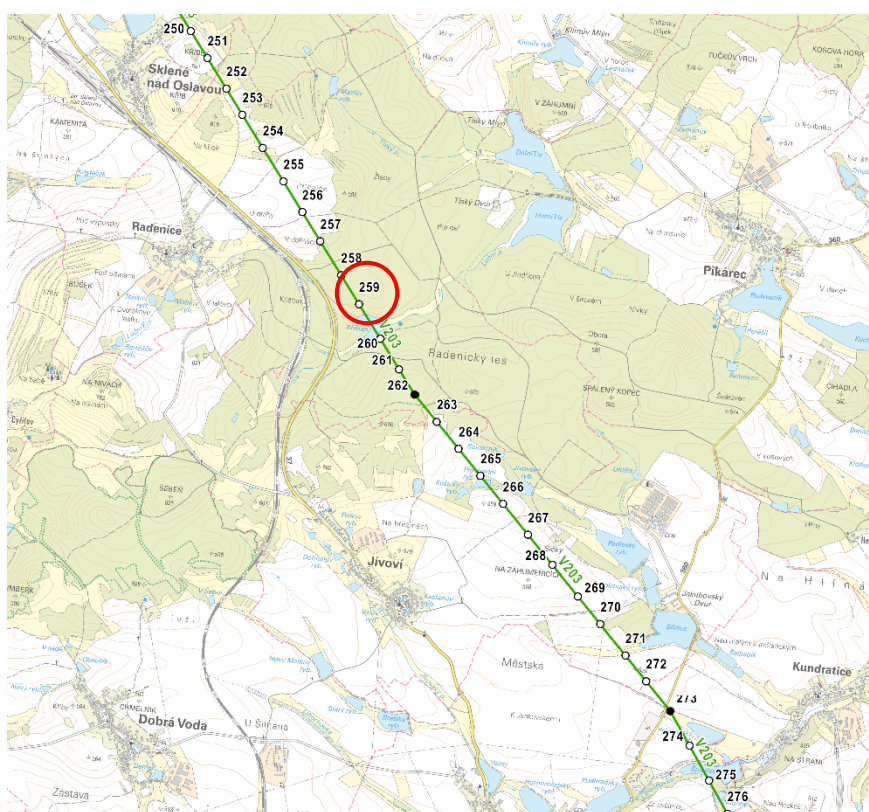
Rovnako ako v predchádzajúcej metóde nám stačila vzdialenosť miesta poruchy len z jednej strany takisto to platí aj v tomto prípade. Vzdialenosť poruchy zo strany Sokolníc je podľa nesynchronizovanej dvojstrannej metódy v mieste 60,46 km. Tým pádom zo strany Opočínku je porucha vo vzdialenosti 75,44 km.

6. POROVNANIE PRESNOSTI VÝSLEDKOV JEDNOTLIVÝCH METÓD

V kapitole č. 5 som na konkrétnej poruche z vedenia V203 aplikoval tri metódy, ktoré sú určené na lokalizáciu miesta poruchy na vedeniach VVN. Každá z troch metód používa na lokalizáciu miesta poruchy iný postup výpočtu a tým pádom dostávame rôzne lokalizácie miesta poruchy. V tejto kapitole porovnám výsledky jednotlivých metód a ich lokalizácie miesta poruchy so skutočným miestom poruchy na vedení V203. Vzdialenosti poruchy z jednotlivých koncov ako aj poradové číslo stožiaru, na ktorom bola porucha skutočne nájdená (viď Obr. 30) sú zobrazené nižšie.

Tabuľka 8 - Údaje o skutočnej poruche z obidvoch strán

Rozvodňa	Vzdialenosť [km]	Poradové číslo stožiaru
SOKOLNICE	58,92	259
OPOČÍNEK	76,97	259



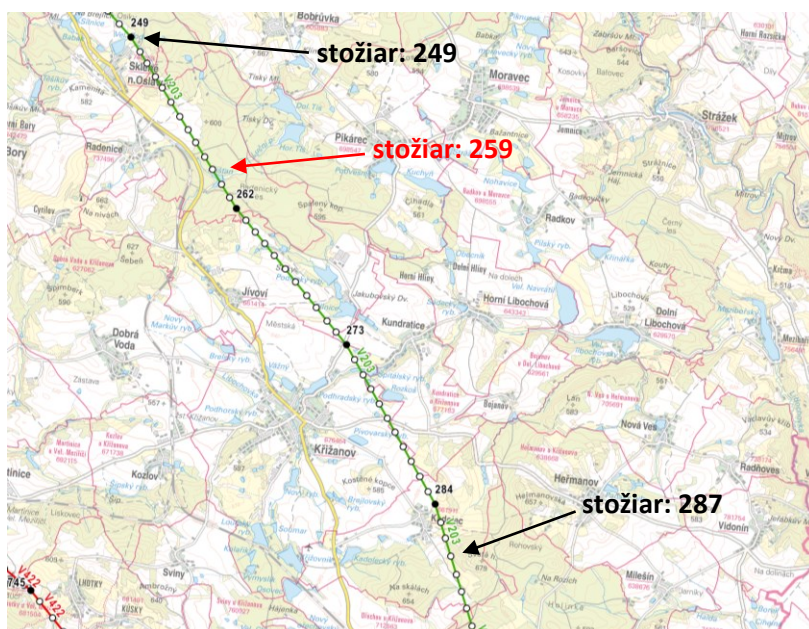
Obr. 30 Označenie miesta stožiaru na ktorom bola porucha

6.1. Lokalizácia miesta poruchy pomocou programu SIGRA

Program SIGRA, primárne pracuje s jednostrannou impedančnou metódou. Vyhodnocuje vzdialenosť miesta poruch na základe dát z jednej alebo druhej strany. Z výsledkov, ktoré sú zobrazené nižšie (Tabuľka 9), môžeme vidieť, že program SIGRA určil výsledky s rozptylom 10,6 km. Výsledok zo strany Sokolníc je presnejší ako zo strany Opočínku. Ak prepočítame rozptyl 10,6 km na percentá zistíme, že program nám určil, aby sme skontrolovali približne 7,8%. Vo všeobecnosti sa udáva percentuálna úspešnosť jednostrannej impedančnej metódy na 10%. Vzdialenosti výsledkov, ktoré program určil sú zobrazené na mape stožiarov nižšie (Obr. 31) a v kapitole 5.6. (Obr. 26 a Obr. 29).

Tabuľka 9 - Výsledky z programu SIGRA

Rozvodňa	Vzdialenosť [km] / Rozdiel [km]	Poradové číslo stožiara / Rozdiel
SOKOLNICE	61,6 / 2,68	249 / 10
OPOČÍNEK	84,9 / 7,93	287 / 28



Obr. 31 Označenie stožiarov, ktoré určil program SIGRA

6.2. Výsledky jednostrannej impedančnej metódy

Jednostranná impedančná metóda je jednoduchá metóda, ktorá spracováva dáta o vedení len z jednej strany, čo je jej najväčšia výhoda, pretože nepotrebuje informácie z druhého konca vedenia. Zároveň poskytuje táto metóda rozumné odhady lokalizácie miesta poruchy na vedení. Na výpočet lokalizácie poruchy potrebuje napätie, prúd postihnutej fázy a prúd v nulovom vodiči.

Z dôvodu svojej jednoduchosti sa používa aj v programe SIGRA, ktorý je zameraný na lokalizáciu porúch na vedení VVN a taktiež na princípe jednostrannej impedančnej metódy pracuje lokalizátor poruchy, ktorý je v DO.

LOKALIZÁTOR PORUCHY DISTANČNEJ OCHRANY

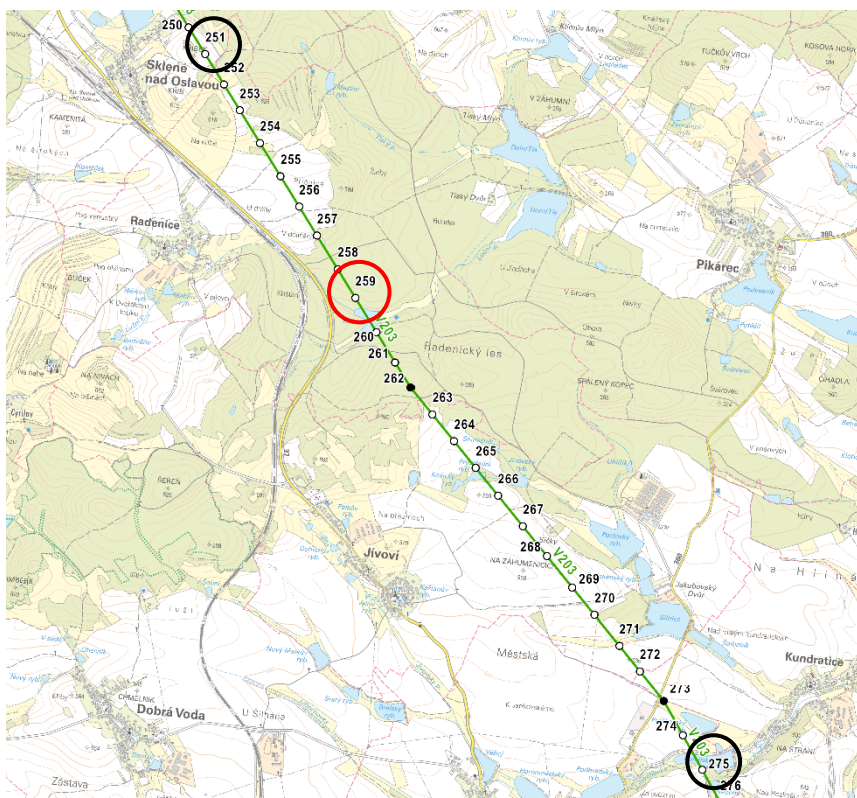
Pri pohľade na kapitolu 5.3. „Porucha na vedení V203“ zistíme, že lokalizátor poruchy určil miesta poruchy nasledovne:

Tabuľka 10 - Miesta poruchy určené lokalizátorom porúch

Rozvodňa	Vzdialenosť [km] / Rozdiel [km]	Poradové číslo stožiaru / Rozdiel
SOKOLNICE	61,1 / 2,18	251 / 8
OPOČINEK	81,3 / 4,33	275 / 16

Z tabuľky 10 vidíme, že medzi miestom poruchy, ktorú určil lokalizátor a miestom skutočnej poruchy je rozdiel 2,18 km respektíve 4,33 km. Výsledky sa zdajú byť nepresné. Sú zapríčinené tým, že lokalizátor poruchy určil miesto poruchy s tým, že do výpočtu započítal odpor poruchy. Taktiež je vo výpočte zahrnutý aj prúd, ktorý preteká nulovým vodičom. Tento prúd nemá konštantný odpor a preto ani prúd nie je konštantný.

Toto má za následok, že impedancia, ktorú zmeria ochrana sa líši od skutočnej impedancie poruchy a lokalizátor poruchy, tak určí chybnú vzdialenosť miesta poruchy. Toto sú najväčšie nevýhody, ktorých sa lokalizátory porúch dopúšťajú pri výpočte lokalizácie miesta poruchy a preto vznikajú veľké rozptyly miest poruchy, ktoré lokalizátory vypočítajú.



Obr. 32 Mapa stožiarov, ktoré určil lokalizátor

V tomto prípade určili lokalizátory DO poruchy dve miesta, kde by sa mohla vyskytnúť porucha, tým pádom vznikol rozptyl medzi miestami možných porúch 6,51 km.

Ak zoberieme do úvahy, že vedenie má dĺžku 135,9 km a ak prepočítame tento rozptyl vzdialenosti na percentá zistíme, že lokalizátory porúch určili 4,8% vedenia, kde sa porucha môže nachádzať. Pracovníci, ktorí vykonávajú pochôdzku vždy kontrolujú väčší úsek ako len ten, ktorý vyhodnotí lokalizátor poruchy pri prvotnom výsledku miesta poruchy. Pre lepšiu predstavu, aký úsek sa musí skontrolovať poslúži Obr. 32, na ktorom sú znázornené stožiare, ktoré označil lokalizátor (čierne kruhy). Na tom obrázku je taktiež vyznačené skutočné miesto lokalizácie poruchy (červený kruh).

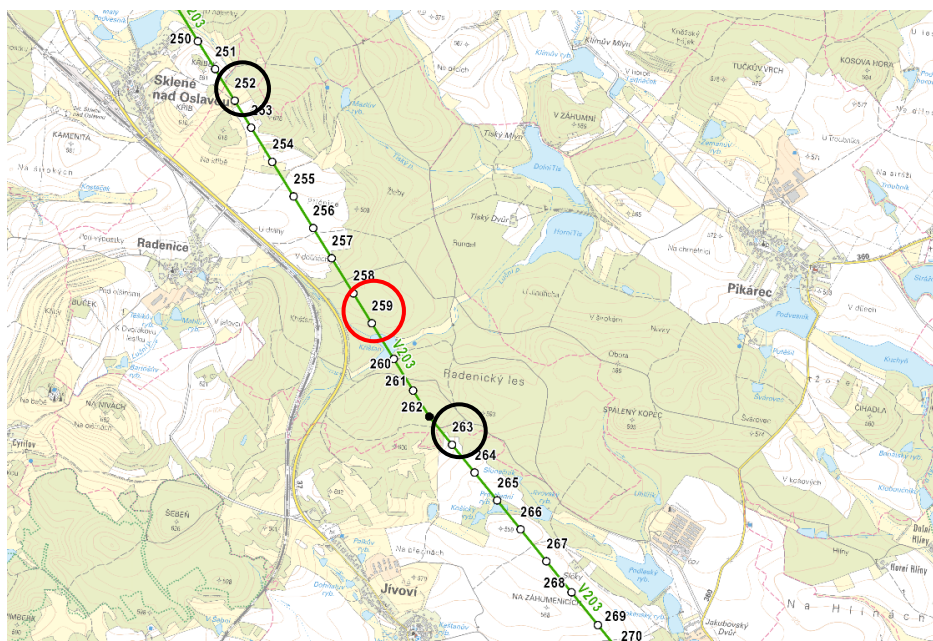
LOKALIZÁCIA MIESTA PORUCHY VÝPOČTOM

Pri lokalizácii miesta poruchy pomocou jednostrannej impedančnej metódy som vo výpočte neuvažoval s odporom poruchy. Tým pádom som eliminoval jeden z najväčších problémov s ktorými pracujú lokalizátory poruchy v distančných ochranách.

Tabuľka 11 - Výsledky výpočtu jednostrannej impedančnej metódy

Rozvodňa	Vzdialenosť [km] / Rozdiel [km]	Poradové číslo stožiaru / Rozdiel
SOKOLNICE	60,85/ 1,93	252 / 7
OPOČÍNEK	78,14 / 1,17	263 / 4

Ak sa pozrieme na výsledky z tabuľky 11 či už z jednej alebo druhej strany vedenia vidíme, že oproti výpočtom z lokalizátorov DO sú výsledky presnejšie. Metóda sa síce nezhodla na 1 spoločnom mieste poruchy, ale určila dve miesta (viď Obr. 33, čiernymi kruhmi označené miesta lokalizácie poruchy), ktoré vytvorili rozptyl vzdialenosti iba 3,1 km. Zo strany Sokolníc sa metóda pomýlila o 1,93 km čo v prepočte znamená chybu o 7 stožiarov. Zo strany Opočínku je chyba menšia a rozdiel medzi skutočným miestom poruchy a vypočítanou vzdialenosťou je 1,17 km, čo je chyba o 4 stožiare. Ak si vzniknutý rozptyl 3,1 km prevedieme na percentá, zistíme že musíme skontrolovať 2,3% dĺžky vedenia.



Obr. 33 Mapa stožiarov ktoré určil výpočet

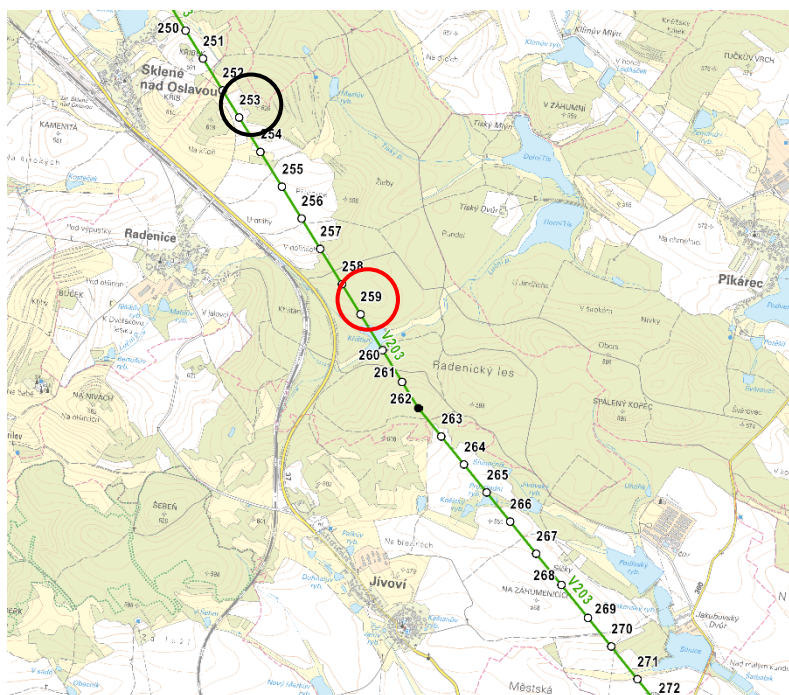
6.3. Výsledky synchronizovanej dvojstrannej metódy

Synchronizovaná dvojstranná metóda pracuje s údajmi o vedení z obidvoch strán. Na výpočet vzdialenosti lokalizácie poruchy potrebuje spätné zložky napätí a prúdov z jedného aj druhého konca vedenia. Pri tomto type výpočtovej metódy musíme dbať na to, aby sme mali časové priebehy jednotlivých napätí a prúdov z obidvoch koncov synchronizované.

Tabuľka 12 - Výsledky výpočtu synchronizovanej dvojstrannej metódy

Rozvodňa	Vzdialenosť [km] / Rozdiel [km]	Poradové číslo stožiaru / Rozdiel
SOKOLNICE	60,52 / 1,6	253 / 6

Z tabuľky 12 vidíme, že výpočet pomocou dvojstrannej synchronizovanej metódy lokalizoval miesto poruchy o 6 stožiarov skôr voči skutočnému miestu poruchy, čo je približne o 1,6 km pred skutočnou poruchou. Tento rozdiel je skutočne veľmi malý a je zapríčinený presnosťou merania a presnosťou synchronizácie. Ak vezmeme do úvahy, že vedenie je dlhé 135,9 km a synchronizovaná dvojstranná metóda nám vyhodnotila miesto poruchy len 1,6 km pre skutočným miestom poruchy môžeme konštatovať, že metóda je veľmi presná. Pomocou dvojstrannej synchronizovanej metódy sme určili stožiar číslo 253 na, ktorom by mala byť porucha. Jedna z najväčších výhod dvojstrannej synchronizovanej metódy oproti jednostrannej impedančnej metóde je fakt, že u dvojstrannej synchronizovanej metódy dostaneme z výpočtu len jednu hodnotu vzdialenosti, ktorá určí konkrétny stožiar na ktorom by mala byť porucha. Ak sa porucha na označenom stožiare nenachádza musíme prehľadať oblasť okolo stožiaru smerom na Sokolnice a rovnako aj smerom na Opočínok.



Obr. 34 Miesto stožiaru ktorý vypočítala porucha (253) a stožiar na ktorom bola skutočne porucha (259)

6.4. Výsledky nesynchronizovanej dvojstrannej metódy

Nesynchronizovaná dvojstranná metóda sa používa v prípade, kedy priebehy, ktoré sú zachytené zapisovačmi porúch nie sú synchronizované. To znamená, že sú voči sebe časovo posunuté. V našom prípade boli priebehy synchronizované a výsledky nesynchronizovanej metódy sú približne rovnaké ako v prípade synchronizovanej metódy, čo môžeme vidieť aj v tabuľke 13. Obidve metódy sa približne zhodli vo výsledkoch a určili rovnaký stožiar (253), na ktorom sa mala nachádzať porucha.

Tabuľka 13 - Výsledky výpočtu nesynchronizovanej dvojstrannej metódy

Rozvodňa	Vzdialenosť [km] / Rozdiel [km]	Poradové číslo stožiara / Rozdiel
SOKOLNICE	60,46 / 1,54	253 / 6

7. ZÁVER

Účelom tejto práce je zhodnotiť a porovnať tri metódy, ktoré sa venujú lokalizácii miesta poruchy na vonkajších vedeniach. Výsledky všetkých troch metód sú relatívne presné, ak si zoberieme, že vedenie má 135,9 km a najhorší výsledok sa líši len o 7,93 km čo v prepočte znamená 5,8%. Výsledky všetkých metód sú zobrazené nižšie (Tabuľka 14). Sú zoradené od najlepšieho výsledku až po najhorší. Nižšie zobrazený Obr. 35 naznačuje pre lepšiu predstavivosť výsledky týchto metód a nie je v mierke k skutočnej dĺžke vedenia.

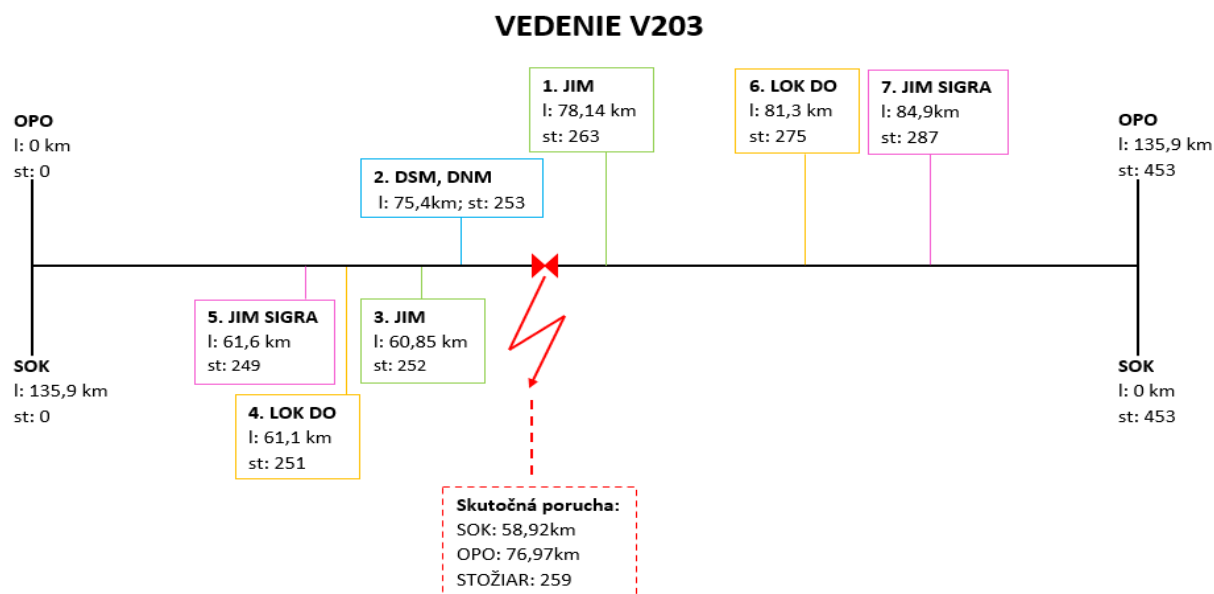
Metóda jednostrannej impedancie je jednoduchá, ľahko implementovateľná a k výpočtu lokalizácie miesta poruchy nám postačujú údaje, len z jednej strany. Vo všeobecnosti sa percentuálna presnosť metódy predpokladá do 10%. Nevýhodou tejto metódy je, že určuje dve miesta polohy s neznámou presnosťou lokalizácie, ktorá je u oboch hodnôt rozdielna. Jedna lokalizácia polohy môže byť relatívne presná, ale pokiaľ je druhá veľmi nepresná, výsledok je celkovo nepresný a na vedení nám vznikne veľké rozmedzie oblasti poruchy, rádovo až desiatky kilometrov.

V praxi je jednostranná impedančná metóda implementovaná priamo v distančných ochranách alebo inteligentných elektronických zariadeniach, ktoré obsahujú lokátor poruch. Výhodou je, že v prípade poruchy je ihneď hodnota lokalizácie k dispozícii. Vzdialenosť pomocou jednostrannej impedančnej poruchy je možné vypočítať po zadaní parametrov vedenia v programe SIGRA alebo manuálne pomocou vzorcov. Ak sa pozrieme na výsledky tejto metódy zistíme, že výsledky z lokalizátoru DO a programu SIGRA sú najhoršie. Pri výpočte počítajú s odporom poruchy a taktiež s prúdom I_0 , ktorý nie je konštantný, pretože závisí na viacerých faktoroch (napr. či je vedenie prevádzkované ako paralelné, transpozícia vodičov, typ stožiarov..). Tieto faktory ovplyvňujú výslednú lokalizáciu poruchy a sú zdrojom chýb. Pri manuálnom výpočte pomocou vzorcov som dosiahol presnejších hodnôt vzdialeností poruchy než v programe SIGRA a lokalizátorov DO. Zo strany Opočínku som týmto krokom dosiahol najpresnejší výsledok, kde odchýlka od skutočnej vzdialenosti bola len 1,17 km. Zo strany Sokolnic vyšiel výsledok o 1,93 km ďalej a potvrdzuje teóriu, že jeden výsledok dokáže byť veľmi presný a druhý veľmi nepresný.

Dvojstranná synchronizovaná metóda pracuje s údajmi z oboch strán vedenia. Používa spätné zložky napätí a prúdov, ktoré sú namerané na oboch koncoch vedenia. Eliminuje nepresnosť vzniknutú vplyvom odporu poruchy a nulovej impedancie, ktorá nemusí byť konštantná. Priebehy napätí a prúdov musia byť synchronizované a nesmú byť voči sebe časovo posunuté, inak dochádza k chybnému výsledku lokalizácie poruchy. Dvojstranná synchronizovaná metóda poskytuje iba 1 výsledok miesta poruchy. Je presnejšia ako jednostranná impedančná metóda avšak vždy sa musí prepočítať manuálne. Je možné ju využiť v prípadoch, kedy nastane porucha a lokalizátory DO určia miesta poruchy s veľkým rozptylom vzdialenosti. Vtedy sa použije dvojstranná synchronizovaná metóda a miesto lokalizácie poruchy sa spresní. V mojom prípade som pomocou tejto metódy určil vzdialenosť poruchy s rozdielom len 1,6 km. Tento rozdiel je vyvolaný chybou merania a chybou synchronizácie.

Dvojstranná nesynchronizovaná metóda sa používa v prípade, kedy nie sú priebehy napätí a prúdov synchronizované respektíve vtedy, keď si chceme overiť výsledok z dvojstrannej synchronizovanej metódy. Eliminuje chybu, ktorá sa pri synchronizácii vytvorí a taktiež je veľmi presná.

Z výsledkov vidíme, že odhadla poruchu ešte o 20 m presnejšie, čiže priebehy neboli na 100% synchronizované. Rozdiel 20 m oproti synchronizovanej metóde vo výsledku nič neznamená pretože, určili rovnaký stožiar.



Obr. 35 Porovnanie presnosti výsledkov na vedení V203

Tabuľka 14 - Porovnanie výsledkov jednotlivých metód

Číslo	Názov	Skratka	Strana	Rozdiel dĺžky [km]	Rozdiel stožiare [-]
1.	Jednostranná impedančná m.	JIM	Opočienek	1,17	4
2.	Dvojstranná nesynchronizovaná m.	DNM	Sokolnice – Opočienek	1,54	6
	Dvojstranná synchronizovaná m.	DSM	Sokolnice – Opočienek	1,6	
3.	Jednostranná impedančná m.	JIM	Sokolnice	1.93	7
4.	Lokalizátor distančnej ochrany	LOK DO	Sokolnice	2,18	8
5.	Jednostranná. impedančná m. SIGRA	JIM SIGRA	Sokolnice	2,68	10
6.	Lokalizátor distančnej ochrany	LOK DO	Opočienek	4,33	16
7.	Jednostranná. impedančná m. SIGRA	JIM SIGRA	Opočienek	7,83	28

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] NOVÁK, Milan. *ELEKTROENERGETIKA* [online]. In: . [cit. 2021-04-27]. ISBN 978-80-89072-41-5. Dostupné z: <http://www.oze.stuba.sk/wp-content/themes/ObnovitelneZdrojeEnergie/elearning/EENERGETIKA/La-12.htm>
- [2] ČEPS a.s.: Ke stažení [online]. In: . Praha, 2017, s. 1-36 [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/ke-stazeni>
- [3] TOMAN, Petr. Provoz distribučních soustav. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [4] ČEPS a.s.: Údaje o PS [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/udaje-o-ps>
- [5] GALETKA, Martin. Přenosová soustava elektrické energie. *Tzbinfo* [online]. 2016 [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13676-prenosova-soustava-elektricke-energie>
- [6] BECHNÍK, Bronislav. PROČ JE ELEKTRINA 8x DRAŽŠÍ [online]. In: . [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: https://www.hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/2015/06/proc_je_elektrina_osmkrat_drazsi_studie.pdf
- [7] ČEPS a.s.: Vývoj přenosové soustavy [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/vyvoj-prenosove-soustavy>
- [8] ČEPS a.s.: Technická infrastruktura [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/technicka-infrastruktura>
- [9] ČEPS a.s.: O společnosti [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/o-spolecnosti>
- [10] ČEPS a.s.: Činnosti [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/cinnosti>
- [11] ČEPS a.s.: Dispečerské řízení [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/dispecerske-rizeni>
- [12] ČEPS a.s.: Zahraniční spolupráce [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/zahranicni-spoluprace>
- [13] ENTSO-E *Mission Statement: Who we are* [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://www.entsoe.eu/about/inside-entsoe/objectives/>
- [14] ENTSO-E *Member Companies* [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://www.entsoe.eu/about/inside-entsoe/members/>

- [15] ENTOS-E *System Operations Committee* [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://www.entsoe.eu/about/system-operations/#regional-groups>
- [16] ENTSO-E *First milestone of Future Synchronous Connection of the Baltic Power System with Continental Europe* [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://www.entsoe.eu/news/2019/05/29/first-milestone-of-future-synchronous-connection-of-the-baltic-power-system-with-continental-europe/>
- [17] The *electricity interconnection of the Balkans* is being strengthened [online]. In: . [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://balkaneu.com/the-electricity-interconnection-of-the-balkans-is-being-strengthened/>
- [18] TLUSTÝ, Josef. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04940-2.
- [19] *Distanční ochrana: Principy a použití*. Plzeň, 2004. Akademická práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [20] ABB - *Popis a technická data REL 670: IED pro distanční chránění vedení REL 670*. 1.1. Trutnov, 2007.
- [21] ČSN EN 60255-24: *Elektrické relé: Obecný formát pro výmenu prechodně uložených dat (COMTRADE) v elektrizačních soustavách*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [22] DAS, Swagata, Surya SANTOSO, Anish GAIKWAD a Mahendra PATEL. Impedance-based fault location in transmission networks: theory and application. In: *IEEE Access* [online]. 2014, , s. 537-557 [cit. 2021-04-27]. ISSN 2169-3536. Dostupné z: doi:10.1109/ACCESS.2014.2323353
- [23] *Interné zdroje spoločnosti ČEPS, a.s.: Metody lokalizace poruch* [online]. [cit. 2021-04-27].
- [24] SIEMENS *Fault record evaluation: SIGRA* [online]. [cit. 2021-04-27].
- [25] MEDVEC, Zdeněk. *Základné pojmy elektrizačných ochrán: Automatiky opätovného zapnutí* [online]. Skriptum VŠB-TUO [cit. 2021-04-27].
- [26] ERU: *Čtvrtletní zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR IV. čtvrtletí 2020* [online]. Jihlava, 2020 [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/zpravy-o-provozu-elektrizacni-soustavy#2020>

ZOZNAM PRÍLOH

PRÍLOHA I - ELEKTRIZAČNÁ SÚSTAVA ČR V ČÍSLACH

- A. Výroba el. energie v ČR, r.2020
- B. Bilancia spotreby el. energie v ČR, r.2020
- C. Inštalovaný výkon v ČR v roku 2020

PRÍLOHA II - PRENOSOVÁ SÚSTAVA ČR

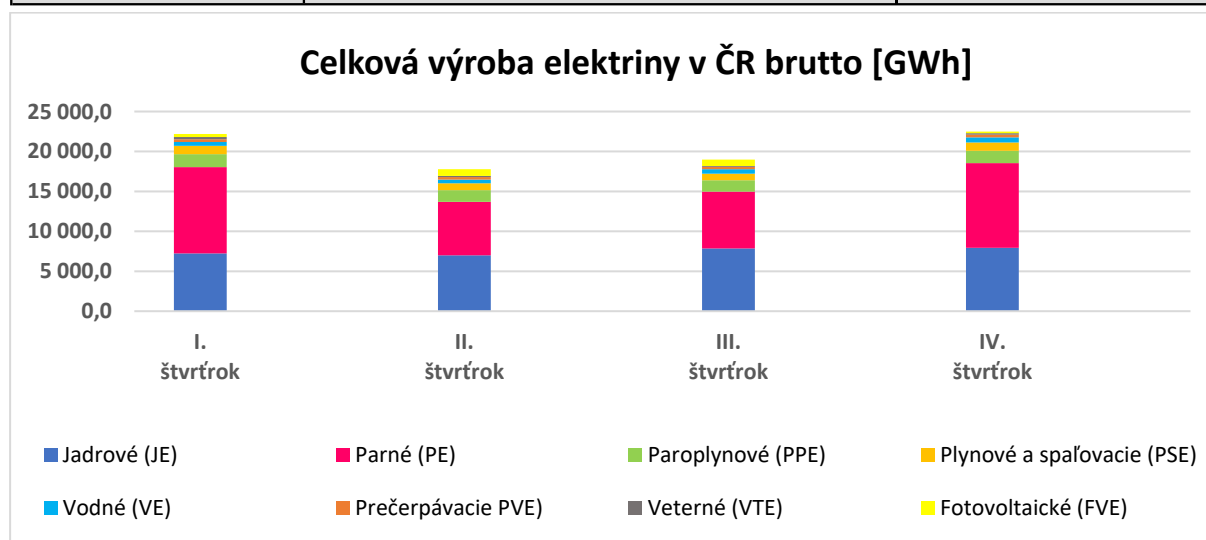
PRÍLOHA I - ELEKTRIZAČNÁ SÚSTAVA ČR V ČÍSLACH

A. Výroba el. energie v ČR, r.2020

Celková vyrobená elektrická energia v ČR za rok 2020 predstavuje **81 437,6** GWh. Najväčší podiel na vyrobenej elektrickej energii majú parné (43,2%) a jadrové elektrárne (36,9%). Výroba elektriny brutto za IV. štvrťrok 2020 klesla oproti rovnakému obdobiu predchádzajúceho roku o 5,2%. Celkom bolo vyrobených 22,5 TWh elektriny brutto, to je o 1,2 TWh menej než v IV. štvrťroku 2019. Najväčší pokles bol zaznamenaný v októbri a to o 12%, v novembri 1,6% a v decembri činil pokles o 1,8%. Najväčšiu medzoročnú absolútnu zmenu výroby elektriny zaznamenali jadrové elektrárne, a to pokles o 0,7 TWh, tj. o 8,2%. Taktiež, klesla celková výroba u parných elektrární o 5,6%. Menej elektriny vyrobili aj fotovoltaické elektrárne o 24,9%, veterné o 12,9%, prečerpávacie o 4,4% a paroplynové elektrárne o 3,8%. Naproti tomu vodné elektrárne vyrobili o 0,3 TWh viac, čo činí nárast o 65,3% voči IV. štvrťroku 2019. [26]

Tabuľka 15 - Zdroje výroby el. energie v ČR, r.2020 [26]

	OBDOOBIE				VYROBENÁ ELEKTRINA	
	I. štvrťrok	II. štvrťrok	III. štvrťrok	IV. štvrťrok	CELKOM [GWh]	CELKOM [%]
Jadrové (JE)	7 239,4	6 994,3	7 861,6	7 948,20	30 043,5	36,9
Parné (PE)	10 796,1	6 700,0	7 101,7	10 600,10	35 197,9	43,2
Paroplynové (PPE)	1 621,1	1 452,4	1 426,0	1 541,70	6 041,2	7,4
Plynové a spaľovacie (PSE)	1 046,4	871,2	832,8	1 036,90	3 787,3	4,7
Vodné (VE)	490,2	459,3	552,4	640,40	2 142,3	2,6
Prečerpávacie (PVE)	335,6	316,3	308,0	333,20	1 293,1	1,6
Veterné (VTE)	268,6	136,0	104,2	190,50	699,3	0,9
Fotovoltaické (FVE)	393,2	851,2	785,3	203,30	2 233,0	2,7
Výroba elektriny brutto	22 190,6	17 780,7	18 972,0	22 494,3	81 437,6	100



Graf 1 - Podiel jednotlivých zdrojov na celkovej výrobe el. energie v ES ČR 2020 [26]

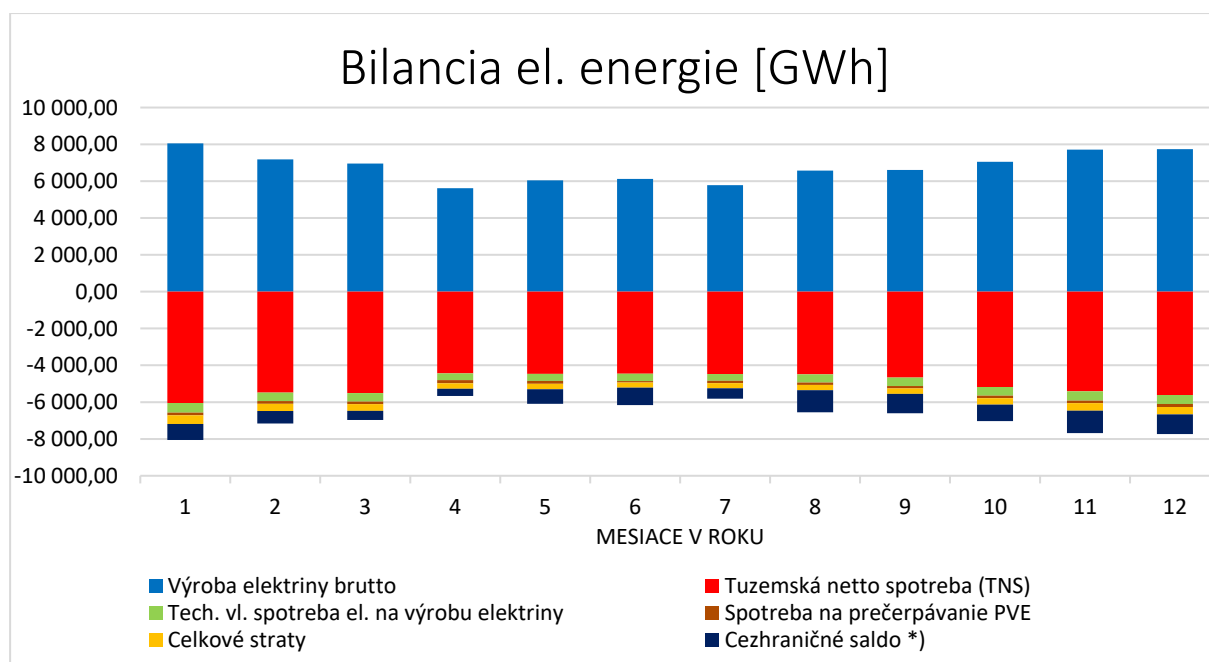
B. Bilancia spotreby el. energie v ČR, r.2020

Bilancia spotreby elektrickej energie v ES ČR je rozdelená do viacerých energetických odvetví, ako môžeme vidieť nižšie (Tabuľka 16). Najväčší podiel na spotrebovanej elektrickej energii má tuzemská netto spotreba (TNS). Do tejto skupiny patria veľkoodberatelia z VVN, veľkoodberatelia z VN, maloodberatelia (obyvateľstvo + podnikatelia), spotreba PPS a PDS, a technologická vlastná spotreba elektriny na výrobu tepla (TVS_t). Celková ročná výroba elektriny za rok v ČR dosahuje 81 437,6 GWh. Pre vytvorenie tohto množstva elektriny musíme určité nevyhnutné množstvo elektriny aj spotrebovať. Jedná sa o technologickú vlastnú spotrebu elektriny na výrobu elektriny (TVS_e) v elektrárňach, ktorá tvorí 5 316,9 GWh za rok čo je približne 6,5% z celkovej vyrobenej el. energie. Z vlastnej spotreby sú napájané napr. mlyny, čerpadlá, ventilátory, dopravné pásy, atď. Vyrobená tuzemská elektrická energia sa však nespotrebuje len v ČR. Vyrobené množstvo elektrickej energie postačuje na zásobovanie domáceho trhu a preto nadbytok vyrobenej el. energie putuje do susedných štátov a ich prenosových sústav s ktorými je ČR prepojená. Exportovaná el. energia tvorí 10 152,8 GWh, čo predstavuje 12,5% z celkového množstva vyrobenej el. energie v ČR. [26]

Tabuľka 16 - Odvetvia spotreby el. energie v ČR, r.2020 [26]

	OBDOBIE				CELKOM ZA ROK [GWh]
	I. štvrťrok	II. štvrťrok	III. štvrťrok	IV. štvrťrok	
Výroba elektriny brutto	22 190,5	17 780,7	18 972,2	22 494,2	81 437,6
Tuzemská netto spotreba (TNS)	17 037,4	13 352,2	13 631,9	16 212,9	60 234,4
Cezhraničné saldo *)	2 034,9	2 137,7	2 808,0	3 172,2	10 152,8
Tech. vl. spotreba el. na výrobu elektriny	1 443,3	1 154,0	1 265,2	1 454,4	5 316,9
Celkové straty	1 228,1	860,6	862,1	1 166,3	4 117,1
Spotreba na prečerpávanie PVE	439,6	413,1	398,7	433,5	1 684,9

*) zahrnuté údaje PS, Regionálnej PS (RDS), Lokálnej DS (LDS), fyzické toky



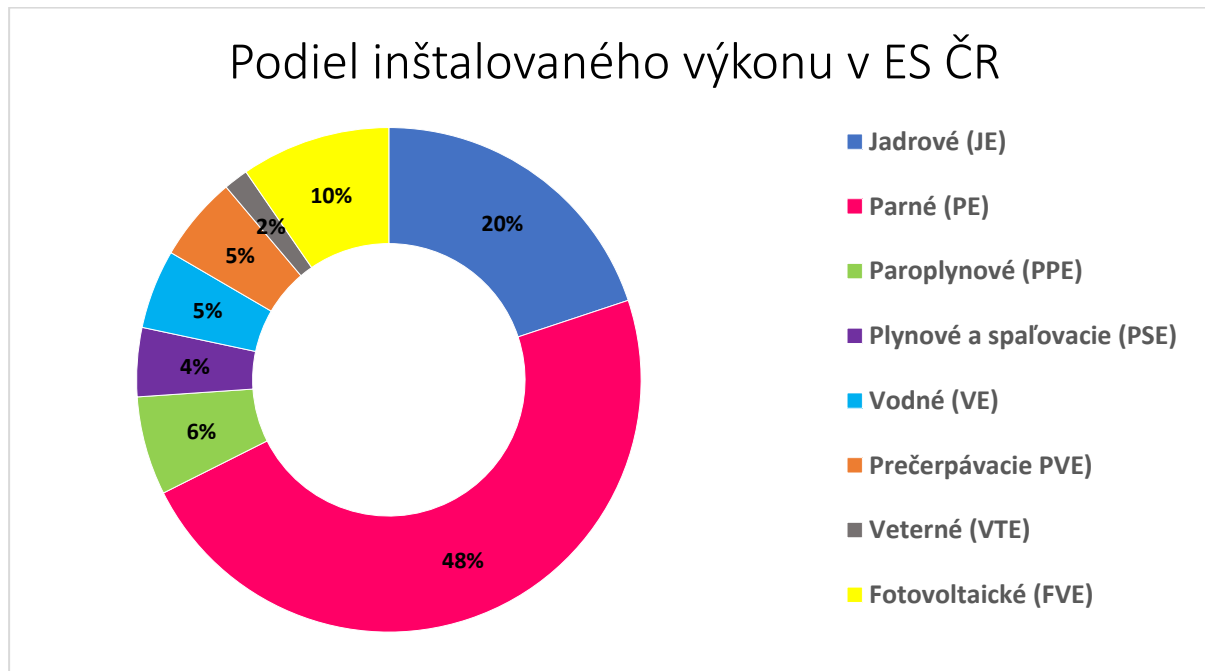
Graf 2 - Bilancia spotreby vyrobenej el. energie [26]

C. Inštalovaný výkon v ČR v roku 2020

Inštalovaný výkon všetkých zdrojov v sústave je súčet menovitých činných výkonov výrobných jednotiek pripojených alebo pripojiteľných do elektrizačnej sústavy. Menovitým výkonom sa rozumie najväčší trvalý výkon zariadenia, pre ktorý sú navrhované a vypočítané. Tabuľka 17 ukazuje, že najväčší podiel na inštalovanom výkone v ES ČR majú parné elektrárne, ktoré tvoria až 48% celkového inštalovaného výkonu. Naopak najmenší podiel v ES tvoria veterné elektrárne, ktoré majú len 2% inštalovaného výkonu. [26]

Tabuľka 17 - Rozdelenie inštalovaného výkonu jednotlivých zdrojov v ES ČR, r.2020 [26]

	OBDOBIE				INŠTALOVANÝ VÝKON	
	I. štvrtrok	II. štvrtrok	III. štvrtrok	IV. štvrtrok	priemerná hodnota [MW]	podiel [%]
Jadrové (JE)	4 290,0	4 290,0	4 290,0	4 290,0	4 290,0	20
Parné (PE)	10 511,1	10 506,9	10 048,3	10 058,3	10 281,1	48
Paroplynové (PPE)	1 363,5	1 363,5	1 363,5	1 363,5	1 363,5	6
Plynové a spaľovacie (PSE)	945,6	950,1	954,3	957,9	952,0	4
Vodné (VE)	1 094,7	1 094,5	1 093,5	1 091,7	1 093,6	5
Prečerpávacie (PVE)	1 171,5	1 171,5	1 171,5	1 171,5	1 171,5	5
Veterné (VTE)	339,4	339,4	339,4	339,4	339,4	2
Fotovoltaické (FVE)	2 067,3	2 067,9	2 067,5	2 060,3	2 065,7	10
Celkom ČR	21 783,1	21 783,8	21 328,0	21 332,6	21 556,9	100,00



Graf 3 - Podiel inštalovaného výkonu jednotlivých zdrojov v ES ČR [26]

PRÍLOHA II - PRENOSOVÁ SÚSTAVA ČR

Tabuľka 18 - Prenosová sústava v číslach k 31.12. 2020 [4]

Popis zariadenia	Celkom v ČR	Jednotky
VEDENIE		
Vedenie 400 kV	3 867	km
<i>z toho dvojité a viacnásobné</i>	1 503	km
Vedenie 220 kV	1 824	km
<i>z toho dvojité a viacnásobné</i>	953	km
Vedenie 110 kV	84	km
<i>z toho dvojité a viacnásobné</i>	78	km
ZAHRANIČNÉ VEDENIE		
Zahraničné vedenie 400 kV	11	ks
Zahraničné vedenie 220 kV	6	ks
ROZVODNE		
Rozvodne 400 kV	29	ks
Rozvodne 220 kV	14	ks
Rozvodne 110 kV	1	ks
TRANSFOMAČNÝ VÝKON		
Transformačný výkon	23 350	MVA
Transformačný výkon PS/DS	21 350	MVA
Transformačný výkon 400/220 kV	2 000	MVA
Transformačný výkon 400/400 kV (PST)	3 400	MVA
TRANSFORMÁTORY		
Transformátory 400/220 kV	4	ks
Transformátory 400/110 kV	51	ks
Transformátory 220/110 kV	20	ks
Transformátory s posunom fáze 400 kV (PST)	4	ks
KOMPENZAČNÝ VÝKON		
Kompenzačný výkon 400 kV	660	MVAr
Kompenzačný výkon 35 kV	270	MVAr
Kompenzačný výkon 10 kV	769	MVAr